



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Διερεύνηση συστημάτων έξυπνης εκτροφής ζώων (smart livestock farming)

Σάλτης Ανδρέας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ - ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Διερεύνηση συστημάτων έξυπνης εκτροφής ζώων (smart livestock farming)

Σάλτης Ανδρέας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ - ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Interconnection of intelligent systems for animal husbandry (smart livestock farming)

Saltis Andreas

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS
TUTOR – ASSOCIATE UNIVERSITY OF THESSALY

Lamia 2023

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.

2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία:
20/11/2023

Ο Δηλών
ΣΑΛΤΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με πρωτοφανή ρυθμό και μαζί του η ζήτηση για προϊόντα ζωικής προέλευσης, όπως το κρέας, το γάλα και τα αυγά. Για να ανταποκριθεί σε αυτή την κλιμακούμενη ζήτηση, διασφαλίζοντας παράλληλα τη βιωσιμότητα, την αποτελεσματικότητα και την καλή διαβίωση των ζώων, η γεωργική βιομηχανία έχει υποστεί μια αξιοσημείωτη μεταμόρφωση.

Η ενσωμάτωση ευφυών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των συσκευών IoT, της τεχνητής νοημοσύνης και της ανάλυσης δεδομένων, έχει οδηγήσει στην εμφάνιση της έξυπνης κτηνοτροφίας. Η παρούσα διατριβή διερευνά τη διασύνδεση των ευφυών συστημάτων στην κτηνοτροφία, καταδεικνύοντας τις δυνατότητές τους να φέρουν επανάσταση στον κλάδο.

ABSTRACT

The world population is growing at an unprecedented rate and with it the demand for products of animal origin, such as meat, milk, and eggs. To meet this escalating demand, while ensuring the sustainability, efficiency and welfare of livestock, the agricultural industry has undergone a remarkable transformation. The integration of intelligent systems, including IoT devices, artificial intelligence, and data analytics, has led to the emergence of smart farming. This thesis explores the interconnectedness of intelligent systems in livestock farming, demonstrating their potential to revolutionize the industry.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	2
ΕΞΥΠΝΗ ΕΚΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΕΥΗΜΕΡΙΑ ΤΩΝ ΖΩΩΝ.....	2
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.2 ΕΞΥΠΝΗ ΕΚΤΡΟΦΗ Ή ΕΚΤΡΟΦΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	3
1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΗ ΔΙΑΒΙΩΣΗ ΤΩΝ ΖΩΩΝ	5
1.4 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΥΗΜΕΡΙΑΣ ΤΩΝ ΖΩΩΝ ΜΕΣΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ	6
1.5 ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΤΑ ΖΩΑ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	11
ΕΞΥΠΝΗ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΦΑΡΜΑ – ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	11
2.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	11
2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΙΟΤ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ.....	13
2.3 ΛΥΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ	16
2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	23
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΗΣΗ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΖΩΩΝ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0.....	23
3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0	23
3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΞΥΠΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0	26
3.3 ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0	29
3.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΩΝ, ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	32
3.5 ΕΚΤΡΟΦΗ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	40
ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB.....	40

4.1 MATLAB ΚΑΙ SMART FARMING	40
4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ MATLAB	45
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>53</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>56</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΞΥΠΝΗ ΕΚΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΕΥΗΜΕΡΙΑ ΤΩΝ ΖΩΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η "έξυπνη" ή "ακριβής" γεωργία έχει φέρει επανάσταση στην καλλιεργητική γεωργία, αλλά η εφαρμογή της στην κτηνοτροφία έχει εγείρει ηθικές ανησυχίες λόγω των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της στην καλή διαβίωση των ζώων. Με την αυξανόμενη ανησυχία του κοινού για την ευημερία των ζώων σε όλο τον κόσμο, ορισμένοι βλέπουν τα κέρδη αποδοτικότητας που προσφέρει η νέα τεχνολογία ως άμεση απειλή για τα ίδια τα ζώα, επιτρέποντας στους παραγωγούς να παίρνουν "περισσότερα για λιγότερα" προς όφελος του κέρδους. Άλλοι βλέπουν σημαντικά πλεονεκτήματα για την καλή διαβίωση των ζώων μέσω της δια βίου παρακολούθησης της υγείας τους, της παροχής εξατομικευμένης φροντίδας και της βελτιστοποίησης των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Η απάντηση στο ερώτημα αν η έξυπνη κτηνοτροφία βελτιώνει ή βλάπτει την καλή διαβίωση των ζώων είναι πιθανό να εξαρτηθεί από τρεις βασικούς παράγοντες. Πρώτον, πολλά θα εξαρτηθούν από τον τρόπο με τον οποίο ορίζεται η ευζωία και από το βαθμό στον οποίο οι πολιτικοί, οι επιστήμονες, οι αγρότες και οι πολίτες μπορούν να συμφωνήσουν για το τι σημαίνει ευζωία και να καταλήξουν έτοι σε μια κοινή άποψη για το πώς να κρίνουν τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζεται από την τεχνολογία. Ο ορισμός της ευζωίας ως συνδυασμός της καλής υγείας και των επιθυμιών των ίδιων των ζώων παρέχει μια ενοποιητική και ζωοκεντρική πορεία προς τα εμπρός. Μπορεί επίσης να προσαρμοστεί άμεσα για την αναγνώριση της ευημερίας από τους υπολογιστές. Ένας δεύτερος κρίσιμος παράγοντας θα είναι το κατά πόσον τα υψηλά πρότυπα καλής διαβίωσης θα αποτελέσουν προτεραιότητα στα συστήματα έξυπνης εκτροφής. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να αναπτυχθούν αλγόριθμοι υπολογιστών που θα μπορούν να αναγνωρίζουν την ευημερία προς ικανοποίηση τόσο του κοινού όσο και των

εκτροφών και να ενσωματωθεί η καλή ευημερία στον έλεγχο και τη λήψη αποφάσεων των έξυπνων συστημάτων.

Αυτό που θα έχει μεγαλύτερη σημασία στο τέλος, ωστόσο, είναι ένας τρίτος παράγοντας, ο οποίος είναι το κατά πόσον η έξυπνη εκτροφή μπορεί πραγματικά να αποδώσει τις υποσχόμενες βελτιώσεις στην καλή διαβίωση των ζώων όταν εφαρμόζεται στον πραγματικό κόσμο. Μια δεοντολογική αξιολόγηση θα είναι δυνατή μόνο όταν οι νέες τεχνολογίες αναπτυχθούν ευρύτερα σε εμπορικές εκμεταλλεύσεις και γίνουν εμφανείς οι πλήρεις κοινωνικές, περιβαλλοντικές, οικονομικές και ευημερίας επιπτώσεις τους.

1.2 ΕΞΥΠΝΗ ΕΚΤΡΟΦΗ Ή ΕΚΤΡΟΦΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η έξυπνη εκτροφή ή εκτροφή ακριβείας περιλαμβάνει τη χρήση της τεχνολογίας για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της εκτροφής των αγροτικών ζώων. Συνεπώς, περιλαμβάνει αισθητήρες για τη μέτρηση μιας σειράς περιβαλλοντικών και ζωικών μεταβλητών, καθώς και τους μηχανισμούς ελέγχου για τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων, είτε με είτε χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των ζώων σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους και ο έλεγχος του περιβάλλοντός τους σημαίνει ότι τόσο η παραγωγικότητα όσο και η ευζωία μπορούν δυνητικά να βελτιωθούν μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης προβλημάτων υγείας [1], οδηγώντας σε στοχευμένη (και επομένως μειωμένη) χρήση φαρμάκων, χαμηλότερη θνησιμότητα και βελτιωμένη υγεία. Αυτά τα αποτελέσματα με τη σειρά τους έχουν άλλα κοινωνικά οφέλη, όπως λιγότερα απόβλητα, μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις [2], [3].

Επιπλέον, τα έξυπνα δεδομένα που μπορούν να συλλεχθούν από χιλιάδες φάρμες μπορούν να εξεταστούν για να βρεθούν λύσεις σε θέματα διαχείρισης, ασθενειών, ευζωίας, παραγωγικότητας, ακόμη και περιβαλλοντικά ζητήματα, τα οποία προηγουμένως βασίζονταν μόνο στην εμπειρία μιας εταιρείας ή σε

ερευνητικά προγράμματα μικρής κλίμακας. Η έξυπνη χρήση των μεγάλων συνόλων δεδομένων που καθιστά δυνατή την έξυπνη εκτροφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων της ίδιας της έξυπνης εκτροφής.

Από την άλλη πλευρά, ωστόσο, η έξυπνη εκτροφή εγείρει επίσης ηθικές ανησυχίες, κυρίως λόγω των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της στην καλή διαβίωση των ζώων. Η ανησυχία είναι ότι τα κέρδη στην παραγωγή και την αποδοτικότητα θα οδηγήσουν σε επιδείνωση της ευζωίας των ζώων μέσω της προώθησης πιο εντατικής εκτροφής [4], της έμφασης στην ομαδική και όχι στην ατομική ευζωία (Winckler, 2019) και της αντικατάστασης των εκπαιδευμένων κτηνοτρόφων από ανώνυμους αλγορίθμους.

Αν και η βελτίωση της ευζωίας των ζώων είναι συχνά ένας από τους δηλωμένους στόχους της έξυπνης εκτροφής [5], δεν είναι καθόλου σαφές ότι αυτό επιτυγχάνεται στην πράξη. Ένας λόγος για την αβεβαιότητα αυτή είναι ότι μεγάλο μέρος της τεχνολογίας βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη και δεν έχει ακόμη εφαρμοστεί αρκετά ευρέως στην πράξη ώστε να είναι σαφείς οι πλήρεις επιπτώσεις της. Επομένως, η εκτροφή ακριβείας όπως εφαρμόζεται στην κτηνοτροφία βρίσκεται σε ένα κρίσιμο στάδιο όπου ο αντίκτυπός της στην καλή διαβίωση των ζώων θα μπορούσε να γίνει είτε θετικός είτε αρνητικός. Παρακάτω, αναλύεται ότι υπάρχουν τρεις παράγοντες που θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό την τελική ηθική ετυμηγορία για την έξυπνη εκτροφή. Αυτοί είναι: (α) αν η έξυπνη εκτροφή υιοθετεί έναν ορισμό της "ευημερίας των ζώων" που είναι αποδεκτός από το κοινό και ειδικότερα αν ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει την άποψη των ζώων, (β) αν η αναγνώριση της ευημερίας των ζώων από τους υπολογιστές είναι αρκετά επιτυχής και αν δίνεται αρκετά υψηλή προτεραιότητα ώστε να ικανοποιούνται τα ηθικά πρότυπα που απαιτούν οι άνθρωποι και να βελτιώνεται πραγματικά η ευημερία και (γ) αν η έξυπνη κτηνοτροφία μπορεί πραγματικά να φέρει τις υποσχόμενες βελτιώσεις στην ευημερία των ζώων όταν εφαρμόζεται στην πράξη.

1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΗ ΔΙΑΒΙΩΣΗ ΤΩΝ ΖΩΩΝ

Ο πρώτος παράγοντας που θα καθορίσει αν η έξυπνη κτηνοτροφία θα θεωρηθεί ότι βελτιώνει ή βλάπτει την καλή διαβίωση των ζώων είναι αν θα είναι δυνατόν να καταλήξουμε σε έναν ορισμό της "καλής διαβίωσης", στον οποίο θα μπορούν να συμφωνήσουν όλοι, συμπεριλαμβανομένων των επιστημόνων, των κτηνοτρόφων, των φιланθρωπικών οργανώσεων και του κοινού. Αυτό μπορεί να ακούγεται σαν ένα ασήμαντο πρόβλημα, αλλά στην πραγματικότητα αποτελεί σοβαρό εμπόδιο για την επίτευξη συναίνεσης, όσον αφορά την ηθική της έξυπνης κτηνοτροφίας, επειδή επί του παρόντος δεν υπάρχει συμφωνημένος ορισμός της "ευζωίας" σε οποιοδήποτε πλαίσιο [6], [7]. Για ορισμένους ανθρώπους, η "καλή διαβίωση" πρέπει να περιλαμβάνει τη διαμόρφωση ενός όσο το δυνατόν πιο "φυσικού" περιβάλλοντος για τα ζώα, ενώ για άλλους μια φυσική ζωή δεν εγγυάται καλή διαβίωση [8] και αυτό που χρειάζονται τα ζώα μπορεί να ικανοποιηθεί καλύτερα σε ένα ελεγχόμενο, αν και τεχνητό, περιβάλλον στο οποίο η τεχνολογία παίζει σημαντικό ρόλο. Ο κατάλογος των προτεινόμενων μέτρων ευζωίας περιλαμβάνει πλέον τη μακροζωία [9], την αναπαραγωγική επιτυχία [10], τη συμπεριφορική ποικιλομορφία [11], τη μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού [12], τη θερμοκρασία των ματιών [13], τη θερμοκρασία του δέρματος [14] και τα επίπεδα ορμονών [15], μαζί με πολλά άλλα. Μια τέτοια πληθώρα διαφορετικών "μέτρων" ευημερίας σημαίνει ότι αυτό που είναι ένας ηθικός τρόπος διατήρησης των ζώων για ένα άτομο είναι ανήθικος για έναν άλλο.

Χωρίς έναν ορισμό της καλής διαβίωσης των ζώων που να μπορεί να υιοθετηθεί από όλους και να βελτιώνει πραγματικά την καλή διαβίωση των ζώων, η εκτροφή ακριβείας θα μπορούσε να συναντήσει σημαντικές αντιδράσεις με το σκεπτικό ότι δεν πληροί τα πρότυπα ενός συγκεκριμένου ορισμού και δεν ανταποκρίνεται στην υπόσχεσή της να βελτιώσει τη ζωή των ζώων. Για όλες τις δυνατότητες που έχει η Μηχανική Μάθηση για τον προσδιορισμό των συνθηκών που οδηγούν στα καλύτερα αποτελέσματα ευζωίας, εξακολουθούμε να χρειαζόμαστε έναν προσδιορισμό του τι είναι ένα "καλό" ή επιθυμητό αποτέλεσμα ευζωίας.

Ένας πιθανός ενοποιητικός ορισμός της καλής διαβίωσης είναι ότι ένα ζώο (α) βρίσκεται σε καλή φυσική κατάσταση και (β) έχει αυτό που θέλει. Πρόκειται για μια πληθώρα πολλών άλλων ευρέως χρησιμοποιούμενων προσεγγίσεων, όπως οι δέκα γενικές αρχές [16], οι πέντε ελευθερίες [17], οι πέντε διατάξεις ή τομείς [18], οι τέσσερις αρχές που προτάθηκαν από το έργο Welfare Quality® (Welfare Quality®, 2018) και οι τρεις κύκλοι της ευζωίας [19] και έτσι αποτυπώνει αυτό που πολλοί άνθρωποι από διαφορετικές οπτικές γωνίες εννοούν με τον όρο ευζωία. Όλα αυτά τα συστήματα τονίζουν τη θεμελιώδη σημασία της σωματικής υγείας για την καλή διαβίωση και το "τι θέλουν τα ζώα" δίνει εξέχουσα θέση στην άποψη των ιδίων των ζώων για το περιβάλλον τους.

Είναι επίσης σύμφωνη με τις πρόσφατες τάσεις να απομακρυνθούμε από τον αρνητικό ορισμό της ευζωίας ως απουσία πόνου και να την ορίσουμε πιο θετικά, ώστε τα ζώα να έχουν μια ζωή που αξίζει να ζήσουν (Life Worth Living) ή, ακόμη καλύτερα, μια θετικά καλή ζωή. Το "τι θέλουν τα ζώα" έχει συζητηθεί στην επιστημονική βιβλιογραφία ως το ότι τα ζώα έχουν "θετικά συναισθήματα" [20] ή βρίσκονται σε "θετική συναισθηματική κατάσταση", αλλά η απλούστερη διατύπωση είναι πιο κατανοητή για τους μη επιστήμονες και πιο άμεσα ενδεικτική των δεδομένων που πρέπει να συλλεχθούν.

1.4 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΥΗΜΕΡΙΑΣ ΤΩΝ ΖΩΩΝ ΜΕΣΩ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Ο ορισμός της καλής διαβίωσης ρητά με όρους υγείας και με βάση το τι επιθυμούν τα ζώα έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι προσφέρεται άμεσα για την αναγνώριση της καλής διαβίωσης των ζώων από τους υπολογιστές. Αυτό είναι σημαντικό διότι η ηθική αξιοπιστία της έξυπνης κτηνοτροφίας θα εξαρτηθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από το αν οι άνθρωποι θα πειστούν ότι οι υπολογιστές είναι ικανοί να αναγνωρίζουν και να αξιολογούν την ευημερία των ζώων και ότι οι υπολογιστές θα προγραμματιστούν ώστε να διασφαλίζουν ότι η καλή ευημερία αποτελεί υψηλή προτεραιότητα. Συνεπώς, ο ορισμός της ευζωίας που

χρησιμοποιείται στην έξυπνη κτηνοτροφία πρέπει να είναι άμεσα μεταφράσιμος σε όρους που ένας υπολογιστής μπορεί να προγραμματιστεί να αναγνωρίσει και να εφαρμόσει στην πράξη.

Η τεχνολογία που είναι σήμερα διαθέσιμη για την έξυπνη εκτροφή περιλαμβάνει "έξυπνους αισθητήρες" που συλλέγουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από τα ζώα ή/και το περιβάλλον τους, την ενσωμάτωση διαφόρων ειδών πληροφοριών σε μεγάλα σύνολα δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω της μηχανικής μάθησης ώστε να δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα παραγωγής και ευζωίας και συστήματα που παρέχουν λεπτομερή έλεγχο του περιβάλλοντος και της διατροφής ενός ζώου. Ωστόσο, η μετατροπή όλων αυτών των δεδομένων σε πρακτικές βελτιώσεις της ευζωίας εξαρτάται καθοριστικά από το πόσο καλοί είναι οι υπολογιστές στο να ερμηνεύουν τα δεδομένα που συλλέγουν με όρους ευζωίας. Πόσο καλά είναι σε θέση οι υπολογιστές να αναγνωρίζουν τα δύο στοιχεία της καλής διαβίωσης;

1.5 ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΤΑ ΖΩΑ

Η κτηνιατρική έχει κάνει μέχρι στιγμής πολύ πιο περιορισμένη χρήση των υπολογιστών για τη μέτρηση της υγείας από ό,τι η ανθρώπινη ιατρική, αλλά τώρα γίνεται όλο και μεγαλύτερη χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων για την ανίχνευση σημείων ασθένειας ή τραυματισμού σε ζώα εκτροφής [20]. Αυτό είναι πιο προχωρημένο στον γαλακτοκομικό τομέα, όπου οι αλλαγές στην κατάσταση της υγείας κάθε μεμονωμένης αγελάδας έχουν αξιοσημείωτο οικονομικό αντίκτυπο και έτσι οι κτηνοτρόφοι θεωρούν ότι η επένδυση στην τεχνολογία που παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για κάθε ζώο είναι σημαντική για ολόκληρη την επιχείρησή τους. Για παράδειγμα, η χωλότητα (η κατάσταση στην οποία η βάδιση δεν είναι φυσιολογική) στις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής μπορεί πλέον να ανιχνεύεται αυτόματα με διάφορους τρόπους, όπως οπτικές εικόνες, δεδομένα επιταχυνσιομέτρων από συσκευές που τοποθετούνται στα πόδια των αγελάδων,

ευαισθησία στην πίεση μαξιλαράκια που καταγράφουν τον τρόπο με τον οποίο οι αγελάδες κατανέμουν το βάρος τους, ακόμη και από τον ήχο των πατημάτων τους [22]. Αλλαγές στη συμπεριφορά, όπως μεγαλύτερες περιόδους ξάπλωσης, μικρότερες περιόδους σίτισης ή αναμείωσης, μπορούν να προκύψουν αυτόματα από οπτικές εικόνες και επιταχυνσιόμετρα και να χρησιμεύσουν ως έγκαιρες προειδοποιήσεις τόσο για χωλότητα όσο και για άλλα προβλήματα υγείας.

Στους χοίρους, οι αλλαγές στη θέση της ουράς μπορούν να ανιχνεύονται αυτόματα από κάμερες και να χρησιμοποιούνται ως προειδοποιήσεις για κρούσματα δαγκώματος της ουράς, μια σοβαρή πηγή τραυματισμών. Η τεχνολογία ψηφιακής απεικόνισης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση διαφορετικών στάσεων που υποδεικνύουν άρρωστα ή τραυματισμένα πτηνά [23] ή για την επιλογή κουτσών ορνιθίων κρεατοπαραγωγής από ανωμαλίες των ταλαντώσεων του σώματός τους, της συχνότητας και του μήκους των βημάτων τους. Μεγάλα ζώα, όπως αγελάδες ή χοιρομητέρες, μπορούν να παρακολουθούνται μεμονωμένα, είτε με την τοποθέτηση ετικετών, ανιχνευτών ή συσκευών μέτρησης πάνω ή ακόμη και μέσα σε κάθε ζώο είτε με την οπτική αναγνώριση μεμονωμένων ζώων από δεδομένα κάμερας. Τέτοιες συσκευές μπορούν να συμβάλουν στην καλή διαβίωση των ζώων, επιτρέποντας σε κάθε ζώο να έχει τη δική του εξατομικευμένη διατροφή και ιατρική περίθαλψη (Caja et al., 2016). Η υπολογιστική όραση και η μηχανική μάθηση μπορούν πλέον να αναγνωρίζουν τις εκφράσεις του προσώπου που δείχνουν πόνο στα πρόβατα, δίνοντας έγκαιρη προειδοποίηση για ασθένειες όπως η σήψη των ποδιών και η μαστίτιδα και επιτρέποντας σε ένα προσβεβλημένο άτομο να θεραπευτεί πριν η ασθένεια εξαπλωθεί στο υπόλοιπο κοπάδι [24].

Ωστόσο, όταν χιλιάδες μικρότερα ζώα διατηρούνται μαζί, η ατομική αναγνώριση είναι προς το παρόν δύσκολη και ολόκληρη η ομάδα αξιολογείται και αντιμετωπίζεται ως σύνολο. Παραδείγματος χάριν, στα πουλερικά που εκτρέφονται στο εμπόριο, δεν ρυθμίζονται η τροφή, ο εμβολιασμός, η φαρμακευτική αγωγή, το ύψος της ποτίστρας, ο φωτισμός και άλλοι παράγοντες για μεμονωμένα άτομα, αλλά, αντίθετα, ρυθμίζονται για τις μέσες ανάγκες ολόκληρου του κοπαδιού. Η αξιολόγηση της ευζωίας βασίζεται ομοίως σε ομαδικά αποτελέσματα, όπως το

ποσοστό ενός σμήνους με ελαττώματα βάδισης, το ποσοστό της θνησιμότητας, οι ήχοι ή οι κινήσεις ολόκληρων σμηνών). Αυτός είναι ένας τομέας στον οποίο η έξυπνη γεωργία είναι επί του παρόντος περιορισμένη, αλλά θα μπορούσε στο μέλλον να συμβάλει πραγματικά στην ευζωία των ομαδικά εκτρεφόμενων ζώων. Η "ακρίβεια" στην έξυπνη γεωργία αναφέρεται στη μέτρηση των ιδιοτήτων του εδάφους, των επιπέδων υγρασίας, των ζιζανίων και των ασθενειών σε συγκεκριμένα τμήματα ενός χωραφιού και στην εφαρμογή θεραπειών, όπως λιπάσματα και ζιζανιοκτόνα, ακριβώς εκεί που πραγματικά χρειάζονται και όχι στο σύνολο του χωραφιού [25]. Η ευημερία των κοτόπουλων θα μπορούσε, ομοίως, να ωφεληθεί από μια τεχνολογία που θα επέτρεπε στους κτηνοτρόφους να εντοπίζουν τα τραυματισμένα πτηνά και να τα περιθάλπουν ατομικά ή να ειδοποιούνται για συγκεκριμένους χώρους του σταβλισμού όπου αρχίζει να εμφανίζεται ένα πιθανό πρόβλημα, όπως, για παράδειγμα, ασφυξία ή υπερπληθυσμός. Οι χώροι που περιέχουν πολλές χιλιάδες πτηνά δεν θα αντιμετωπίζονται πλέον ως ενιαία μονάδα, αλλά ως σμήνη πολλών ατόμων, που βιώνουν διαφορετικές συνθήκες και έχουν διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά την ευημερία. Αυτό θα επέτρεπε μεγαλύτερη εστίαση στην ευημερία των μεμονωμένων ζώων από ό,τι είναι σε θέση να κάνουν σήμερα είτε οι κτηνοτρόφοι είτε τα μηχανήματα.

Ωστόσο, ακόμη και με την τρέχουσα τεχνολογία, πολύτιμες πληροφορίες για την υγεία μπορούν να αποκτηθούν από την παρακολούθηση ολόκληρης της ομάδας χωρίς διάκριση των ατόμων. Για παράδειγμα, ο ήχος του βήχα έχει χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη ανίχνευση πρώιμων ενδείξεων της αναπνευστικής νόσου των βοοειδών, παρά τις δυσκολίες διάκρισης του ήχου του βήχα από άλλους θορύβους του περιβάλλοντος [26]. Οι ήχοι του βήχα στους χοίρους και του φτερνίσματος στα κοτόπουλα έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση αναπνευστικών ασθενειών. Με τη χρήση οπτικών εικόνων, κοπάδια κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής με υψηλά επίπεδα βλαβών στα πόδια και χωλότητας μπορούν να ανιχνευθούν αυτόματα από ανωμαλίες στην κίνηση του κοπαδιού [27], ακόμη και πριν αυτές γίνουν εμφανείς στο ανθρώπινο μάτι. Είναι επομένως σαφές ότι η τεχνολογία έχει ήδη τη δυνατότητα να μετρήσει τουλάχιστον ένα στοιχείο καλής διαβίωσης - την υγεία των ζώων - τόσο σε ατομικό όσο και σε ομαδικό επίπεδο. Νέοι

αυτοματοποιημένοι τρόποι για να γίνει αυτό αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς και η χρήση τους είναι πιθανό να αυξηθεί αισθητά στο εγγύς μέλλον, καθώς τα διαγνωστικά εργαλεία θα μπορούν να εστιάζουν καλύτερα σε μεμονωμένα ζώα και να προειδοποιούν έγκαιρα για επικείμενα προβλήματα υγείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

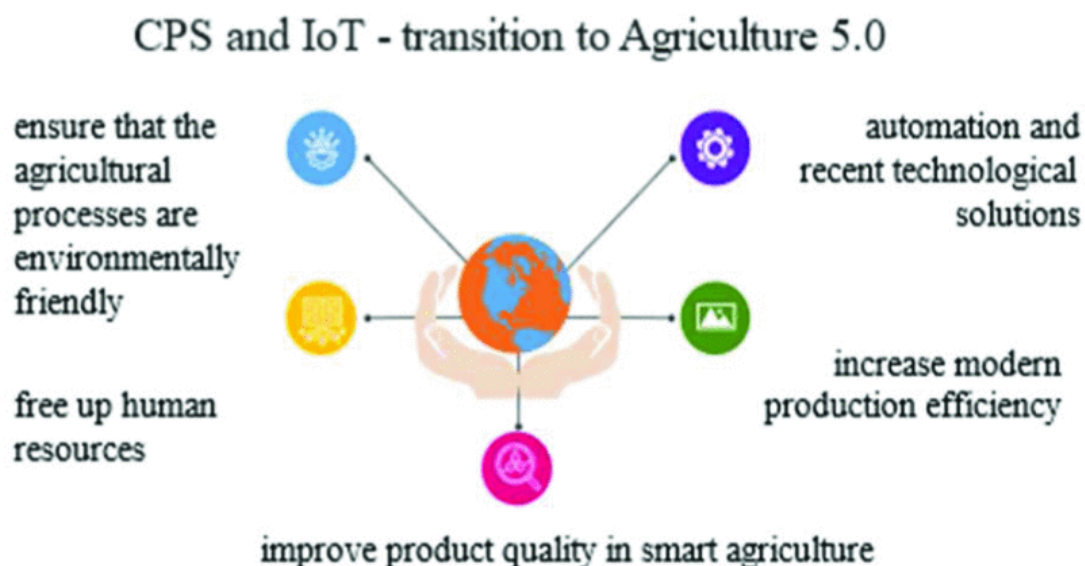
ΕΞΥΠΝΗ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΦΑΡΜΑ – ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η ψηφιοποίηση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης κτηνοτροφίας. Αρκετές, ψηφιακές τεχνολογίες για διάφορα είδη οικόσιτων ζώων και πτηνών αποτελούν τη βάση της ψηφιακής κτηνοτροφίας. Οι τεχνολογίες ακριβείας (PLF - Precision Livestock Farming) επιτρέπουν τον σχηματισμό ενός επαρκούς νέφους δεδομένων σύμφωνα με τις φυσιολογικές και τεχνολογικές απαιτήσεις των διαφόρων κατηγοριών γαλακτοπαραγωγών βοοειδών. Δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο ποιες ψηφιακές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται πιο ορθολογικά στη γαλακτοπαραγωγική κτηνοτροφία. Οι αισθητήρες, οι βιοαισθητήρες, οι συσκευές μέτρησης, οι ηλεκτρονικοί έλεγχοι και οι επιλογές για την επεξεργασία του νέφους, παρέχουν χαρακτηριστικά για την εφαρμογή με διαφορετικό βαθμό επιτυχίας συσκευών, διαμορφώσεων και ρομπότ στην ανάπτυξη σύγχρονων τεχνολογιών για τις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής [28], [29]. Ταυτόχρονα, όμως, η ψηφιοποίηση δημιουργεί αρκετές απειλές και προβλήματα που πρέπει να σημειωθούν σχετικά με την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, τόσο για τους κτηνοτρόφους όσο και για το κράτος και την κοινωνία.

Η κλίμακα της γαλακτοπαραγωγής έχει αλλάξει σημαντικά τα τελευταία χρόνια με τη στροφή προς μεγαλύτερες και πιο εντατικές, προσανατολισμένες στο κέρδος φάρμες και συγκροτήματα, σύμφωνα με τον ανταγωνισμό της αγοράς. Οι αρχές της διαχείρισης και της εφοδιαστικής έχουν επίσης αλλάξει. Η τεχνολογία επιτρέπει πλέον τη διαχείριση και ανάλυση πληροφοριών σχετικά με τη δομή του κοπαδιού, την ηλικία των ζώων και άλλα.

Η “ακριβής” γαλακτοπαραγωγή ορίζεται ως η χρήση των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών (ICT) για τον προληπτικό έλεγχο της παραγωγικότητας των γαλακτοπαραγωγών ζώων και ως ένας αποτελεσματικός πόρος για τη βελτιστοποίηση των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών αποθεμάτων των γαλακτοπαραγωγικών εκμεταλλεύσεων. Η γαλακτοπαραγωγική κτηνοτροφία αποτελεί μια στρατηγική, ειδική αγορά για τεχνολογικές καινοτομίες και εφαρμογές. Η χρήση των Κυβερνο-φυσικών Συστημάτων (CPS) και του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) θα παράσχει τη μετάβαση στο επόμενο στάδιο της κτηνοτροφίας - Γεωργία 5.0 (Εικόνα 1) [30]-[32].



Εικόνα 1: Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα και IOT είναι η βάση για τη μετάβαση στην Γεωργία 5.0

Η έρευνα βασίζεται σε επιστημονικές εξελίξεις που σχετίζονται με ψηφιακές τεχνολογίες ακριβείας, επεμβατικούς και μη επεμβατικούς, βιολογικούς και βιομετρικούς αισθητήρες και τεχνολογίες blockchain για τη διαχείριση και ανάλυση συγκεκριμένων τεχνολογικών διαδικασιών στην εκτροφή γαλακτοπαραγωγών βοοειδών. Ως μεθοδολογική βάση για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν γενικές μέθοδοι επιστημονικής έρευνας, πληροφοριακή-λογική ανάλυση επιστημονικών και τεχνικών πληροφοριών, καθώς και υλικό για την έρευνα αγοράς και την εφαρμογή ευφυών, ακριβών τεχνολογιών και λύσεων διαχείρισης στη γαλακτοπαραγωγική κτηνοτροφία.

2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΙoT ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ

Οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής των κτηνοτρόφων προκαλούν διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με την τεχνολογία εκτροφής τους. Κάθε μεμονωμένο ζώο είναι μια επένδυση για τον αγρότη με υψηλή αξία και ένα ευρύ φάσμα παραγόντων που επηρεάζουν τη συνολική αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της εκμετάλλευσης. Η μέτρηση του χρόνου των κύκλων γονιμότητας (οίστρος) με αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο είναι σημαντική για τη διατήρηση του κοπαδιού, ενώ ο ακριβής έλεγχος της διατροφής και της ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την αύξηση της παραγωγικότητας του γάλακτος. Η αύξηση της παραγωγικότητας στη γαλακτοπαραγωγή συνδέεται με την αυτοματοποίηση της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων σχετικά με τη γενική φυσιολογική δραστηριότητα και κατάσταση, τη διαιτητική διατροφή, την έγκαιρη ανίχνευση του οίστρου και την προσαρμοστική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια του αρμέγματος μέσω της πανταχού παρούσας εφαρμογής των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και του IoT.

Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων ως συλλογή καινοτόμων τεχνολογιών βασίζεται σε εντοπισμένες, διασυνδεδεμένες συσκευές (αισθητήρες, διαμορφώσεις υπολογιστών, συσκευές επικοινωνίας κ.λπ.), ικανές να συλλέγουν δεδομένα και να τα αποθηκεύουν σε ένα νέφος πληροφοριών που επεξεργάζονται έξυπνοι αλγόριθμοι. Το IoT βοηθά τους κτηνοτρόφους να παρακολουθούν διάφορες διεργασίες στις φάρμες με αισθητήρες ικανούς να μετράνε την ηλιακή ακτινοβολία, την ατμοσφαιρική πίεση, τη φυσιολογική ανάπτυξη, τις αλλαγές στο εσωτερικό περιβάλλον του σώματος, τη θερμοκρασία κ.λπ. ενώ παράλληλα συμβάλλει στην απόκτηση των κατάλληλων τεχνολογικών λύσεων [33].

Οι αισθητηριακές τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν στα γαλακτοπαραγωγά ζώα οριστική αυτονομία αντικαθιστώντας ορισμένες από τις τεχνολογικές εργασίες και αυτό παρατηρείται κυρίως στα ρομποτικά συστήματα για το άρμεγμα των αγελάδων. Τα ρομποτικά συστήματα αρμέγματος

χρησιμοποιούν ειδικούς αισθητήρες που καταγράφουν τη συμπεριφορά της αγελάδας κατά τη διάρκεια του αρμέγματος και της οίτισης.

A. Βιομετρικοί αισθητήρες

Οι βιομετρικοί αισθητήρες δίνουν μια αντικειμενική εικόνα κατά την παρατήρηση της συμπεριφοράς των βοοειδών, η οποία επιτρέπει στον κτηνοτρόφο να μελετήσει την κατάσταση και να αντιδράσει κατάλληλα. Οι βιολογικοί και βιομετρικοί αισθητήρες συμβάλλουν στην αύξηση της ποσότητας και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων βοείου κρέατος. Η ευημερία διαφόρων κατηγοριών βοοειδών μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση βιομετρικών αισθητήρων που εξετάζουν μαστίτιδα, κυστική ωοθηκική νόσο, χωλότητα και κέτωση [34], [35]. Η χρήση βιομετρικών αισθητήρων για την ανίχνευση του οίστρου, σε συνδυασμό με τα κλασικά βηματόμετρα παρουσιάζει επιτυχία στην εκτροφή αγελάδων γαλακτοπαραγωγής.

Φορητός συμπαγής βιομετρικός αισθητήρας σχεδιασμένος ειδικά για τη μέτρηση του βαθμού συμπεριφοράς κατά τη βόσκηση των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής επιδεικνύει υψηλή συσχέτιση με τις παραδοσιακές μεθόδους παρακολούθησης.

Οι βιομετρικοί αισθητήρες παρακολουθούν με επιτυχία την πρόσληψη νερού από τα βοοειδή. Μια μελέτη [36], χρησιμοποιώντας ετικέτες RFID και επιταχυνσιόμετρα, έδειξε με ακρίβεια 95% τη σωστή ταξινόμηση των μοντέλων συμπεριφοράς των βοοειδών κατά το πότισμα.

B. Μη επεμβατικοί και επεμβατικοί αισθητήρες

Χρήση μη επεμβατικών αισθητήρων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς συστημάτων παρακολούθησης της υγείας των βοοειδών. Ένα τέτοιο σύστημα θα επιτρέψει την αυτόματη αναγνώριση της κατάστασης της υγείας των γαλακτοπαραγωγών βοοειδών με την χαρτογράφηση στοιχείων της συμπεριφοράς τους που σχετίζονται με ασθένειες συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Οι μη επεμβατικοί βιομετρικοί αισθητήρες τοποθετούνται συνήθως σε στάβλους, αυλές περιπάτου, αρμεκτήρια, αχυρώνες και συγκροτήματα βοοκοτόπων. Στη σταθερή τους θέση, δεδομένα λαμβάνονται σχετικά με το ζωντανό βάρος των διαφόρων κατηγοριών γαλακτοπαραγωγών βοοειδών και τη διανομή και τη διαίτα διαφόρων ποσοτήτων ζωοτροφών. Ορισμένοι μη επεμβατικοί αισθητήρες είναι προσαρτημένοι σε διάφορα ανατομικά μέρη των γαλακτοπαραγωγών βοοειδών, όπως GPS (παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης), MEMS (μικροηλεκτρομηχανικοί αισθητήρες δραστηριότητας), βηματόμετρα (Εικόνα 2a) και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των φυσιολογικών διεργασιών σε διάφορες κατηγορίες γαλακτοπαραγωγών βοοειδών. Μη επεμβατικοί είναι επίσης οι αισθητήρες που σχεδιάζονται και προσαρτώνται στην ετικέτα αυτιού (Εικόνα 2b) όπως οι κωδικοί RFID (radio frequency identification) και QR.



a)



b)

Εικόνα 2: Χρήση βηματομέτρων και ετικετών αυτιού

Οι επεμβατικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά στην εκτροφή βοοειδών. Εμφυτεύονται με τη βοήθεια ενός καθετήρα στην κοιλιά των βοοειδών με τη μορφή έξυπνου βολβού (Εικόνα 3a). Παρακολουθούν και συλλέγουν εσωτερικές φυσιολογικές παραμέτρους, την υγεία της κοιλιάς, την ωσμωτική πίεση, την κοιλιακή πίεση, τη θερμοκρασία του σώματος και άλλα. Οι επεμβατικοί αισθητήρες μπορούν επίσης να εμφυτεύονται υποδόρια (Εικόνα 3b). Είναι μικροί και συμπαγείς σε μέγεθος και μετρούν συγκεκριμένες φυσιολογικές παραμέτρους.



a)



b)

Εικόνα 3: Βολβοί και αναμεταδότες

2.3 ΛΥΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ

Οι ψηφιακές τεχνολογίες στη γαλακτοκομία λαμβάνουν, συστηματοποιούν και επεξεργάζονται δεδομένα από: ζώα με τσιπ, "έξυπνα" συστήματα αρμέγματος, συσκευές ανάλυσης γάλακτος, σαρωτές σώματος, αισθητήρες κίνησης, αισθητήρες τροφής και συστήματα ελέγχου μικροκλίματος στις εγκαταστάσεις. Η ρομποτοποίηση των διαδικασιών παραγωγής γάλακτος είναι μια συλλογή πληροφοριών σε διαδικτυακή λειτουργία.

A. Ακριβείς κτηνοτροφικές τεχνολογίες στην πράξη

Οι ακριβείς τεχνολογίες γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς στη γαλακτοβιομηχανία, καθώς εφαρμόζουν την εξ αποστάσεως παρακολούθηση της υγείας των αγελάδων και επιτρέπουν την έγκαιρη αντίδραση σε ένα παθογόνο [37]. Για να διασφαλιστεί η ποιότητα της τεχνολογικής διαδικασίας πρέπει να εφαρμόζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων (σύνολο δεδομένων), ακολουθούμενες από έλεγχο ασφαλείας και ποιοτικό έλεγχο.

Σύμφωνα με τον Röttgen [38] μελετήθηκε η αυτοματοποιημένη ανίχνευση και καταγραφή των ακουσμάτων μεμονωμένων υπερχολερικών αγελάδων στο κοπάδι,

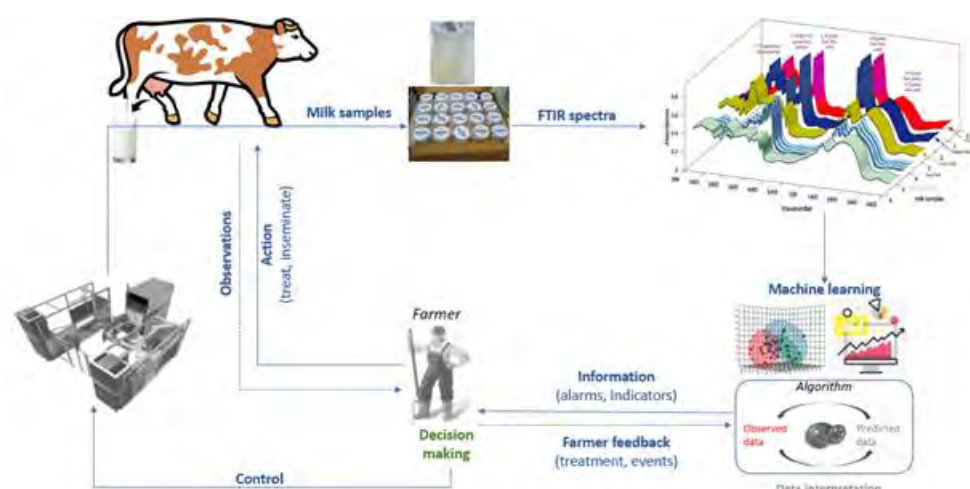
με αναφερόμενη και αναλυόμενη ευαισθησία στο 87% αυτών και χαρακτηριστική ειδικότητα στο 94% αυτών, ως δυνητικά σημαντική μέθοδο για την παρακολούθηση και ανάλυση της οιστρολογικής κατάστασης των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής.

Η διατροφή και το ενεργειακό ισοζύγιο είναι σημαντικά για την αποτελεσματική παραγωγή γάλακτος από εξειδικευμένες γαλακτοπαραγωγικές φυλές. Τα κυκλοφορούντα επίπεδα μη εστεροποιημένων λιπαρών οξέων (NEFA) δείχνουν αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο και μπορεί να αποτελούν σύμπτωμα σημαντικών κινδύνων για την υγεία που πρέπει να ελέγχονται. Οι βιοαισθητήρες που παρακολουθούν τα NEFA βρίσκονται υπό ανάπτυξη και έχουν τη δυνατότητα να είναι εξαιρετικά χρήσιμοι στις γαλακτοπαραγωγικές μονάδες [39].

Η κέτωση (είναι η μεταβολική κατάσταση που εμφανίζεται όταν το σώμα καίει λίπος για ενέργεια αντί για γλυκόζη) αποτελεί μείζον πρόβλημα για την κατάσταση της υγείας στις γαλακτοπαραγωγικές φάρμες. Συνήθως προηγούνται αυξημένα επίπεδα β-υδροξυβουτυρικού οξέος (BHBA). Η ασθένεια μπορεί να ανιχνευθεί με έναν βιοαισθητήρα βασισμένο σε κβαντική τελεία που αναπτύχθηκε από τους Weng et al. [40]. Μια εναλλακτική προσέγγιση υιοθετήθηκε από τους Tuteja et al. [39] με τη χρήση ηλεκτροχημικών ανοσοαισθητήρων που βασίζονται σε νανοδομή 2D MoS₂ για την ανίχνευση του BHBA σε αγελάδες γαλακτοπαραγωγής. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει υψηλή ειδικότητα και ευαισθησία και είναι συγκρίσιμη με τις εμπορικά διαθέσιμες διαμορφώσεις. Οι συσκευές πεδίου BHBA και οι τεχνολογίες που βασίζονται σε smartphone επιτρέπουν την ταχεία εξέταση και ανταπόκριση από τον κτηνίατρο της φάρμας.

Φορητός διαγνωστικός αναγνώστης μπορεί να ανιχνεύσει την προγεστερόνη στο γάλα. Η ανάπτυξη βιοαισθητήρων που θα επέτρεπαν την ταχεία ανίχνευση δεικτών και την ενεργό αντίδραση του κτηνοτρόφου θα βελτιώνει τελικά την υγεία και την ευημερία των γαλακτοπαραγωγών βοοειδών, μειώνοντας παράλληλα τη χρήση σημαντικών χρηματικών πόρων [41], [42].

Οι καινοτόμες μέθοδοι περιλαμβάνουν το σύστημα οφθαλμικής απεικόνισης TIR (thermal infrared) που χρησιμοποιείται για τη μη επεμβατική παρακολούθηση του στρες σε διάφορες κατηγορίες βοοειδών, καθώς και ορισμένες άλλες νέες προσεγγίσεις που χρήζουν προσοχής. Πρόκειται για την προσέγγιση που χρησιμοποιείται από διάφορες εταιρείες στην Ιρλανδία και την Κίνα για τη σάρωση προσώπου, την αναγνώριση και την επιτήρηση που εφαρμόζεται στα βοοειδή [41], [43].



Εικόνα 4: Η Μηχανική Μάθηση και οι αναλύσεις του γάλακτος καταστούν ευκολότερη την παρακολούθηση των αγελάδων και της υγείας του κοπαδιού

Σύμφωνα με τη μελέτη της Ιβανονα και της ομάδα της [44] γίνεται σύγκριση στους δείκτες σε γαλακτοπαραγωγικές μονάδες μετά την εισαγωγή ψηφιακών συστημάτων διαχείρισης. Από τα 6241 ζώα που αναλύθηκαν, το ποσοστό των λαθών στα αρχεία μετά την εισαγωγή του ψηφιακού συστήματος διαχείρισης πληροφοριών μειώθηκε κατά 27% και η ποιότητα της παραγωγής αυξήθηκε.

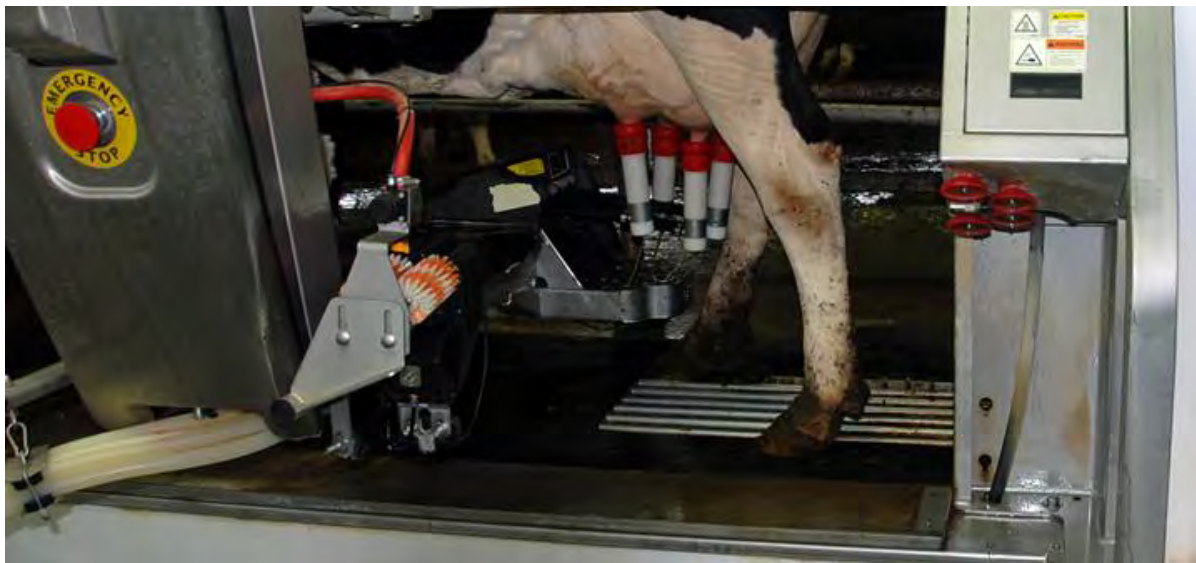
Β. Ψηφιοποίηση και καινοτομίες στις βουλγαρικές γεωργικές εκμεταλλεύσεις

Πάνω από το 60% των βουλγαρικών αγροκτημάτων έχουν πτωχεύσει και εκκαθαριστεί τα τελευταία 10 χρόνια, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία. Μέχρι σήμερα, 133.000 αγροκτήματα και γεωργικές εκμεταλλεύσεις καλλιεργούν περίπου 3 εκατομμύρια και 959 χιλιάδες εκτάρια. (Γεωργική έκθεση του Υπουργείου Γεωργίας και Τροφίμων, 2021). Οι αγρότες, οι γεωργικοί παραγωγοί

και οι αγροδιαχειριστές ανησυχούν για το υψηλό κόστος που πρέπει να προκύψει από την εφαρμογή των ψηφιακών τεχνολογιών. Σε έρευνα που διεξήχθη στη Βουλγαρία διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αγροκτήματα και συγκροτήματα που ήδη χρησιμοποιούν επιδέξια τις ψηφιακές τεχνολογίες. Πρόκειται για το 14% περίπου του συνόλου των εγγεγραμμένων.

Λίγοι δήμοι στη Βουλγαρία έχουν αναπτύξει στρατηγική για την εφαρμογή και την ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών. Ωστόσο, η Βουλγαρία αναζητά λύσεις για τη μετατροπή του υπάρχοντος, ξεπερασμένου κτιριακού αποθέματος και την αναδιοργάνωση των τεχνολογικών διαδικασιών. Παράδειγμα αποτελεί η πρώην φάρμα του χωριού Zlatonrah, του δήμου Asenov grad, όπου με βάση τα υπάρχοντα κτίρια από τούβλα και σκυρόδεμα αναδιοργανώνεται - ολοκληρώνεται ο κύκλος - μια φάρμα για 100 αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών. Το χωριό βρίσκεται σε επίπεδο έδαφος και περιβάλλεται από εύφορα χωράφια και βοσκοτόπια. Στην οροφή της μελλοντικής φάρμας αγελάδων αναμένεται να εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας. Η τεχνολογία αναπαραγωγής θα είναι η αναπαραγωγή ελεύθερου κιβωτίου και τα ζώα θα χωριστούν σε 4 ομάδες των 25 σε μια ομάδα.

Το άρμεγμα θα γίνεται ρομποτικά, σε ένα σύγχρονο αρμεκτήριο. Η σίτιση θα πραγματοποιείται κανονικά, κατά μήκος της διαδρομής της τροφής, σύμφωνα με τα υποβληθέντα στοιχεία. Οι αγελάδες θα φέρουν ωτοασπίδες με αισθητήρες για την παρακολούθηση της υγείας, της γονιμότητας και της υποψίας χολότητας. Προβλέπεται η τοποθέτηση αισθητήρων και στην κοιλιά, με τη μορφή έξυπνων μίνι-βολβών (smaXtec) για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της ενεργού κίνησης. Ο βολβός θα στέλνει ενημερώσεις κάθε 10 μέτρα και στη συνέχεια οι πληροφορίες θα αποθηκεύονται στο σύννεφο πληροφοριών, μέσω ευρυζωνικού δικτύου ή δικτύου 4G. Σταθεροί αισθητήρες θα παρακολουθούν το μικροκλίμα στους χώρους: υγρασία, σκόνη, θερμοκρασία αέρα, φωτισμός, παρουσία επιβλαβών αερίων, εξαερισμός, θόρυβος και άλλα. Ο καθαρισμός του λιπάσματος προβλέπεται να μηχανοποιηθεί χρησιμοποιώντας τρακτέρ με φτυάρι μπουλντόζας το οποίο θα καλύπτει το λίπασμα ρίχνοντας θρυμματισμένο άχυρο.



Εικόνα 5: Άρμεγμα με τη χρήση ρομπότ

Η Vasileva [45] διεξάγει μια ευρεία έρευνα και διαπιστώνει ότι μόνο το 20% των αγροτών ενδιαφέρεται για ένα τυποποιημένο σύστημα διαχείρισης τροφίμων (σύστημα blockchain), ενώ ταυτόχρονα προβληματίζονται πιστεύοντας ότι δεν έχουν βρει το κατάλληλο σύστημα για τις ανάγκες της παραγωγής τους. Περίπου το 26% των αγροτών πιστεύει ότι το σύστημα blockchain είναι πολύπλοκο στην εφαρμογή του και απαιτεί πολλούς πόρους για τη συντήρηση και την εκπαίδευση. Έως και το 71% των αγροτών δείχνουν εμπιστοσύνη ότι οι τελικοί χρήστες θα επιλέξουν τα προϊόντα τους και το 75% από αυτούς δηλώνουν ότι η μεγαλύτερη διαφάνεια σχετικά με την ποιότητα των προϊόντων τους θα τους επιτρέψει να κατακτήσουν νέες θέσεις.

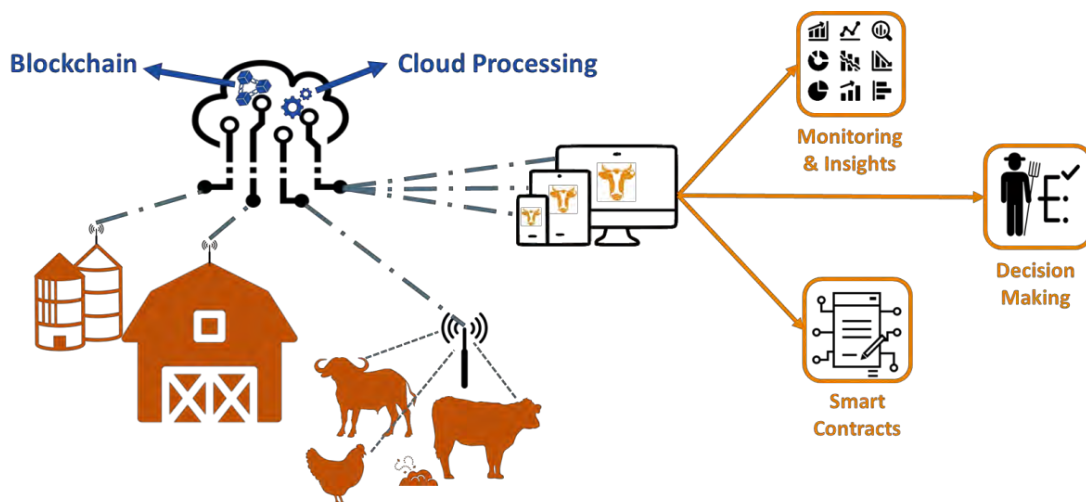
2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ

A. Blockchain

Οι τεχνολογίες blockchain παρουσιάζουν την εκτροφή γαλακτοπαραγωγών βοοειδών ως διαφανή, σταθερή και προβλέψιμη στα μάτια του πελάτη. Πρόκειται για ένα αποκεντρωμένο, προ-κρυπτογραφημένο βιβλίο συναλλαγών, όπου κάθε συναλλαγή δημιουργεί έναν "κόμβο". Οι κόμβοι οργανώνονται σε αρχεία γνωστά ως "μπλοκ", ενώ συνδέονται με ημικώδικες και σχηματίζουν μια "αλυσίδα" (Εικόνα 6). Η τεχνολογία blockchain έχει τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά - είναι

κατανεμημένη, διαφανής, αμετάβλητη και δημοκρατική [46]. Η μεταφορά των δεδομένων της αλυσίδας μπλοκ γίνεται μεταξύ των μηχανών και τα δεδομένα ενημερώνονται αυτόματα.

Στην εκτροφή βοοειδών, αυτό γίνεται καθώς κάθε βοοειδής λαμβάνει μια μοναδική, ατομική ταυτότητα. Αυτός ο αριθμός αναγνώρισης θα παραμείνει μαζί με το βοοειδές καθ' όλη τη διάρκεια της ύπαρξής του με σκοπό τη συλλογή δεδομένων για τη φάρμα ή την εκμετάλλευση όπου ζούσε και διατηρούνταν, θα καταγράφει τη μεταφορά του στο σφαγείο, θα διενεργεί επιθεώρηση μετά τη σφαγή, έλεγχο της μεταφοράς των προϊόντων κρέατος, της λειτουργικότητας της συσκευασίας και των χαρακτηριστικών του λιανοπωλητή. Οι τεχνολογίες blockchain βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο της ανάπτυξής τους. Παρουσιάζουν τους αγρότες και τους γεωργικούς παραγωγούς ως διαφανώς υπόλογους στον καταναλωτή για τον τρόπο με τον οποίο τα προϊόντα τους ταξιδεύουν στην αγορά. Η τεχνολογία blockchain είναι ιδιαίτερα χρήσιμη με την παρακολούθηση της ποιότητας των τροφίμων ή της χρήσης αντιβιοτικών μέσω της διαθέσιμης συσκευής σάρωσης για τη δημιουργία του ιστορικού των ζώων.



Εικόνα 6: Χρήση blockchain κατά την έξυπνη εκτροφή

B. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

Οι ψηφιακές τεχνολογίες (χρήση αισθητήρων, IoT, μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη) μπορούν να δημιουργήσουν σημαντική αποτελεσματικότητα και βελτιστοποίηση στη διαχείριση και την παραγωγή γάλακτος στις γαλακτοκομικές εκμεταλλεύσεις. Επιπλέον, η εφαρμογή τεχνολογιών για τρισδιάστατη απεικόνιση και μοντελοποίηση με δυνατότητες απτικής και αισθητηριακής ανατροφοδότησης (επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα - AR/VR) μπορεί να είναι χρήσιμη στον τομέα της κτηνιατρικής επιστήμης και της κτηνοτροφίας. Τα ψηφιακά δίδυμα στην κτηνοτροφία είναι μονάδες λογισμικού που μετατρέπουν τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες και συσκευές IoT στη φάρμα σε ένα μοντέλο AR/VR με την απαραίτητη ακρίβεια [47]. Με αυτόν τον τρόπο τα όργανα AR/VR λειτουργούν ως ανθρώπινες μέθοδοι διδασκαλίας αντί της χρήσης εκπαιδευτικών ζώων για την κτηνιατρική πρακτική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΗΣΗ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΖΩΩΝ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0

3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0

Η γεωργία 4.0, που συχνά αναφέρεται ως γεωργία ακριβείας ή έξυπνη γεωργία, περιλαμβάνει την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών και προσεγγίσεων που βασίζονται σε δεδομένα για τη βελτιστοποίηση διαφόρων πτυχών των γεωργικών εργασιών. Η διασύνδεση των έξυπνων συστημάτων στη Γεωργία 4.0 απαιτεί προσεκτική εξέταση των τεχνικών απαιτήσεων ώστε να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη επικοινωνία, η αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων και η αξιόπιστη λειτουργία. Ακολουθούν ορισμένες βασικές τεχνικές απαιτήσεις:

Ασύρματοι αισθητήρες και συσκευές: Εφαρμογή μιας ισχυρής υποδομής του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) με ασύρματη συνδεσιμότητα (π.χ. Zigbee, LoRa, NB-IoT) για αισθητήρες και συσκευές που αναπτύσσονται σε όλη τη γεωργική εκμετάλλευση. Αυτό περιλαμβάνει αισθητήρες εδάφους, μετεωρολογικούς σταθμούς και αισθητήρες εξοπλισμού.

Τυποποιημένα πρωτόκολλα: Τήρηση τυποποιημένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το MQTT ή το CoAP, για αποτελεσματική και τυποποιημένη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών και συστημάτων. Αυτό διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα και τη συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων έξυπνης γεωργίας.

Αξιόπιστη συνδεσιμότητα: Δημιουργία αξιόπιστης υποδομής δικτύου υψηλού εύρους ζώνης, είτε μέσω παραδοσιακών δικτύων κινητής τηλεφωνίας, είτε μέσω

δορυφορικών επικοινωνιών, είτε μέσω ειδικών γεωργικών δικτύων. Η συνδεσιμότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη μετάδοση και τον έλεγχο δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Edge Computing: Ανάπτυξη συσκευών υπολογισμού άκρων κοντά σε αισθητήρες και ενεργοποιητές για την τοπική επεξεργασία δεδομένων. Αυτό μειώνει την καθυστέρηση, ελαχιστοποιεί τον όγκο των δεδομένων που μεταδίδονται μέσω του δικτύου και βελτιώνει τη συνολική απόκριση του συστήματος.

Κρυπτογράφηση από άκρο σε άκρο: Εφαρμογή κρυπτογράφησης από άκρο σε άκρο για τα δεδομένα που μεταδίδονται μεταξύ συσκευών και συστημάτων για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας των δεδομένων. Τα έξυπνα γεωργικά συστήματα διαχειρίζονται συχνά ευαίσθητες πληροφορίες και η προστασία αυτών των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας.

Τυποποιημένα API: Παροχή τυποποιημένων διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) για να καταστεί δυνατή η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών έξυπνων συστημάτων και εξοπλισμού. Αυτό διευκολύνει την ενσωμάτωση διαφορετικών τεχνολογιών και λύσεων.

Ενσωμάτωση νέφους

Πλατφόρμες νέφους: Ολοκλήρωση με πλατφόρμες νέφους για αποθήκευση, ανάλυση και πρόσβαση σε δεδομένα. Οι λύσεις που βασίζονται στο νέφος επιτρέπουν την κλιμακούμενη διαχείριση δεδομένων, την ανάλυση και την απομακρυσμένη πρόσβαση σε δεδομένα αγροκτήματος από οπουδήποτε.

Τυποποιημένες μορφές δεδομένων: Τήρηση τυποποιημένων μορφοτύπων δεδομένων, όπως JSON ή XML, για συνεπή και ομοιόμορφη αναπαράσταση των δεδομένων. Αυτό διευκολύνει την κοινή χρήση δεδομένων και την ενσωμάτωση σε διάφορες εφαρμογές έξυπνης γεωργίας.

Ολοκληρωμένες πλατφόρμες: Εφαρμογή ολοκληρωμένων πλατφορμών λογισμικού γεωργίας ακριβείας που ενοποιούν δεδομένα από διαφορετικές πηγές, προσφέροντας στους αγρότες μια ενιαία εικόνα των εργασιών τους. Αυτές οι πλατφόρμες συχνά περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως παρακολούθηση, υποστήριξη αποφάσεων και αυτοματοποίηση.

Απομακρυσμένη πρόσβαση: Παροχή δυνατότητας στους γεωργούς να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις γεωργικές εργασίες από απόσταση μέσω εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα ή διεπαφών στο διαδίκτυο. Αυτό περιλαμβάνει τη δυνατότητα ρύθμισης της άρδευσης, παρακολούθησης της υγείας των καλλιεργειών και ελέγχου αυτόνομων μηχανημάτων.

Επεκτασιμότητα: Σχεδιασμός μιας επεκτάσιμης αρχιτεκτονικής που μπορεί να φιλοξενήσει την προσθήκη νέων αισθητήρων και συσκευών καθώς το αγρόκτημα επεκτείνεται ή καθώς νέες τεχνολογίες γίνονται διαθέσιμες.

Συσκευές χαμηλής ισχύος: Εφαρμογή συσκευών χαμηλής ισχύος και πρωτοκόλλων επικοινωνίας με χαμηλή ενεργειακή απόδοση, ειδικά για απομακρυσμένες ή εκτός δικτύου περιοχές όπου η διαθεσιμότητα ισχύος μπορεί να αποτελεί πρόβλημα.

Συμμόρφωση με τους κανονισμούς: Διασφάλιση της συμμόρφωσης των συστημάτων έξυπνης γεωργίας με τους σχετικούς κανονισμούς και πρότυπα, ιδίως σε τομείς που σχετίζονται με το απόρρητο των δεδομένων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις γεωργικές πρακτικές.

Η εξέταση και η αντιμετώπιση αυτών των τεχνικών απαιτήσεων είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή ανάπτυξη και λειτουργία των έξυπνων συστημάτων στη Γεωργία 4.0, συμβάλλοντας τελικά σε πιο βιώσιμες, αποδοτικές και καθοδηγούμενες από δεδομένα γεωργικές πρακτικές.

3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΞΥΠΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0

Ο σχεδιασμός έξυπνων συστημάτων για τη Γεωργία 4.0 περιλαμβάνει την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών για την ενίσχυση των λειτουργιών των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων. Ακολουθεί ένας βήμα προς βήμα οδηγός για τον σχεδιασμό έξυπνων συστημάτων για τη Γεωργία 4.0:

Αξιολόγηση αναγκών: Διεξαγωγή ενδελεχούς αξιολόγησης της γεωργικής εκμετάλλευσης για την κατανόηση των συγκεκριμένων απαιτήσεων, προκλήσεων και στόχων. Προσδιορίστε τους τομείς στους οποίους η τεχνολογία μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη, όπως η παρακολούθηση των καλλιεργειών, η διαχείριση της άρδευσης, ο έλεγχος των παρασίτων και η βελτιστοποίηση του εξοπλισμού.

Καθορισμός στόχων: Καθολικοί και μετρήσιμοι στόχοι: Ορισμός σαφών και μετρήσιμων στόχων για το έξυπνο σύστημα. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών, τη μείωση της κατανάλωσης πόρων, την ενίσχυση των δυνατοτήτων παρακολούθησης ή την αυτοματοποίηση ορισμένων εργασιών.

Επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών:

- Τεχνολογίες αισθητήρων: Επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών αισθητήρων για την παρακολούθηση της υγείας του εδάφους, των καιρικών συνθηκών, της κατάστασης της καλλιέργειας και της απόδοσης του εξοπλισμού. Παραδείγματα περιλαμβάνουν αισθητήρες υγρασίας, αισθητήρες θερμοκρασίας, συσκευές GPS και αισθητήρες εικόνας.
- Πρωτόκολλα επικοινωνίας: Επιλογή πρωτοκόλλων επικοινωνίας για απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Τα κοινά πρωτόκολλα περιλαμβάνουν τα MQTT, CoAP και HTTP για εφαρμογές IoT.

- **Ανάλυση δεδομένων:** Εφαρμογή εργαλείων και αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων για την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και προβλέψεων.

Δίκτυο IoT: Δημιουργία στιβαρής υποδομής δικτύου IoT που διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, ενεργοποιητών και κεντρικών συστημάτων ελέγχου. Εξετάστε τη χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας χαμηλής ισχύος και μεγάλης εμβέλειας, όπως το LoRa ή το NB-IoT.

Πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους: Ενσωμάτωση πλατφορμών υπολογιστικού νέφους για αποθήκευση, ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων. Οι λύσεις που βασίζονται στο υπολογιστικό νέφος παρέχουν επεκτασιμότητα, προσβασιμότητα και τη δυνατότητα εκτέλεσης σύνθετων αναλύσεων σε μεγάλα σύνολα δεδομένων.

Διασφάλιση της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας των δεδομένων:

Κρυπτογράφηση και πιστοποίηση: Εφαρμογή μηχανισμών κρυπτογράφησης και πιστοποίησης ταυτότητας για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας των δεδομένων των αγροκτημάτων. Προστατεύστε τις ευαίσθητες πληροφορίες από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή αλλοίωση.

Διεπαφές φιλικές προς τον χρήστη: Δημιουργία διεπαφών φιλικών προς το χρήστη για τους γεωργούς και τους εμπειρογνώμονες γεωργίας για την αλληλεπίδραση με το έξυπνο σύστημα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πίνακες ελέγχου μέσω διαδικτύου, εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα ή άλλες διαισθητικές διεπαφές για την παρακολούθηση και τον έλεγχο.

Αυτοματοποιημένα συστήματα: Σχεδιασμός συστημάτων αυτοματισμού για εργασίες όπως ο έλεγχος της άρδευσης, η παρακολούθηση των καλλιεργειών και η λειτουργία του εξοπλισμού. Εφαρμόστε αλγόριθμους ελέγχου που μπορούν να

λαμβάνουν αποφάσεις με βάση δεδομένα πραγματικού χρόνου και προκαθορισμένους κανόνες.

Αυτόνομα μηχανήματα: Εξέταση της χρήσης αυτόνομων μηχανημάτων για εργασίες όπως η φύτευση, η συγκομιδή και το βοτάνισμα. Τα αυτόνομα οχήματα που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες και τεχνολογία GPS μπορούν να πλοηγηθούν στους αγρούς και να εκτελέσουν αποτελεσματικά τις εργασίες.

Επεκτάσιμη αρχιτεκτονική: Να σχεδιάζει το έξυπνο σύστημα με γνώμονα την επεκτασιμότητα. Βεβαιωθείτε ότι το σύστημα μπορεί εύκολα να φιλοξενήσει πρόσθετους αισθητήρες ή συσκευές καθώς το αγρόκτημα επεκτείνεται ή καθώς εισάγονται νέες τεχνολογίες.

Εκπαίδευση χρηστών: Παροχή κατάρτισης στους γεωργούς και τους χειριστές σχετικά με τον τρόπο χρήσης και ερμηνείας των δεδομένων από το έξυπνο σύστημα. Προσφέρεται συνεχή υποστήριξη για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων και τη διασφάλιση της αποτελεσματικής χρήσης της τεχνολογίας.

Συνεχής βελτίωση: Εκτίμηση της απόδοσης του έξυπνου συστήματος σε τακτά χρονικά διαστήματα και συλλογή ανατροφοδότησης από τους χρήστες. Χρησιμοποιήστε αυτές τις πληροφορίες για να κάνετε επαναληπτικές βελτιώσεις, να ενημερώνετε το λογισμικό και να ενσωματώνετε νέες τεχνολογίες όταν αυτές καθίστανται διαθέσιμες.

Συμμόρφωση: Διασφάλιση ότι το έξυπνο σύστημα συμμορφώνεται με τους σχετικούς κανονισμούς και πρότυπα στον τομέα της γεωργίας, της προστασίας των δεδομένων και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

Συνεργασία με γεωπόνους, γεωργικούς επιστήμονες και εμπειρογνώμονες για να διασφαλιστεί ότι το έξυπνο σύστημα ευθυγραμμίζεται με τις βέλτιστες πρακτικές στη γεωργία και τη γεωπονία.

Ακολουθώντας αυτά τα βήματα, μπορούμε να σχεδιάσουμε και να υλοποιήσουμε ένα έξυπνο σύστημα για τη Γεωργία 4.0, το οποίο αξιοποιεί την τεχνολογία για την ενίσχυση των γεωργικών πρακτικών, τη βελτίωση των αποδόσεων και τη συμβολή σε βιώσιμες και αποδοτικές γεωργικές εργασίες.

3.3 ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0

Τα τεχνοοικονομικά επιχειρηματικά μοντέλα για τη Γεωργία 4.0 περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της βιωσιμότητας και της παραγωγικότητας στον γεωργικό τομέα. Ακολουθούν ορισμένα τεχνοοικονομικά επιχειρηματικά μοντέλα που αξιοποιούν τεχνολογίες όπως το IoT, η ανάλυση δεδομένων, η αυτοματοποίηση και η γεωργία ακριβείας:

Γεωργία ακριβείας ως υπηρεσία (PFaaS):

Περιγραφή: Προσφορά λύσεων γεωργίας ακριβείας ως υπηρεσία στους αγρότες, παρέχοντας πρόσβαση σε τεχνολογίες όπως αισθητήρες εδάφους, παρακολούθηση καιρού και ανάλυση δεδομένων.

Μοντέλο εσόδων: Συνδρομητική τιμολόγηση, όπου οι αγρότες καταβάλλουν ένα επαναλαμβανόμενο τέλος για πρόσβαση σε υπηρεσίες γεωργίας ακριβείας, συμπεριλαμβανομένων των γνώσεων δεδομένων, των συστάσεων και της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.

Έξυπνα συστήματα άρδευσης:

Περιγραφή: Ανάπτυξη και εφαρμογή έξυπνων συστημάτων άρδευσης που βελτιστοποιούν τη χρήση του νερού μέσω παρακολούθησης με αισθητήρες και αυτοματοποιημένου ελέγχου.

Μοντέλο εσόδων: Πώληση έξυπνων συστημάτων άρδευσης ως εφάπαξ αγορά ή προσφορά ενός μοντέλου με βάση τη συνδρομή που περιλαμβάνει συντήρηση και ενημερώσεις.

Παρακολούθηση και ανάλυση καλλιεργειών:

Περιγραφή: Ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την παρακολούθηση καλλιεργειών σε πραγματικό χρόνο, την ανίχνευση ασθενειών και την πρόβλεψη της απόδοσης. Παροχή πληροφοριών βάσει αναλύσεων για τη βελτιστοποίηση των γεωργικών πρακτικών.

Μοντέλο εσόδων: Χρέωση των αγροτών με βάση την παρακολουθούμενη έκταση, συνδρομές για υπηρεσίες ανάλυσης ή συνδυασμό και των δύο.

Γεωργική ρομποτική και αυτοματισμοί:

Περιγραφή: Εισαγωγή αυτόνομων ρομπότ και μη επανδρωμένων αεροσκαφών για εργασίες όπως η φύτευση, η συγκομιδή και το βοτάνισμα. Ανάπτυξη ρομποτικών λύσεων που βελτιστοποιούν την εργασία και μειώνουν το λειτουργικό κόστος.

Μοντέλο εσόδων: Πώληση ή μίσθωση γεωργικών ρομπότ σε αγρότες. Προσφορά υπηρεσιών συντήρησης και υποστήριξης ως πρόσθετες πηγές εσόδων.

Λογισμικό διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων:

Περιγραφή: Ανάπτυξη ολοκληρωμένου λογισμικού διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων που ενσωματώνεται με συσκευές IoT, προσφέροντας λειτουργίες όπως ο σχεδιασμός καλλιεργειών, η διαχείριση αποθεμάτων και η οικονομική παρακολούθηση.

Μοντέλο εσόδων: Πρόσθετες χρεώσεις για πρόσθετα χαρακτηριστικά ή προσαρμογές.

Βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού:

Περιγραφή: Βελτιστοποίηση της βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας: Περιγραφή: Εφαρμογή τεχνολογιών για τη βελτιστοποίηση ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού γεωργικών προϊόντων, από την παραγωγή έως τη διανομή. Αξιοποίηση της αλυσίδας μπλοκ για ιχνηλασιμότητα και διαφάνεια.

Μοντέλο εσόδων: Χρέωση τελών για υπηρεσίες βελτιστοποίησης της αλυσίδας εφοδιασμού, ιδίως για τη διασφάλιση της ποιότητας, την ιχνηλασιμότητα και τη συμμόρφωση.

Συμβουλευτικές υπηρεσίες AgTech:

Περιγραφή: Παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών σε αγρότες για την υιοθέτηση και ενσωμάτωση λύσεων AgTech. Προσφορά τεχνογνωσίας για την επιλογή και την εφαρμογή των κατάλληλων τεχνολογιών για συγκεκριμένες ανάγκες των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

Μοντέλο εσόδων: Χρέωση αμοιβών συμβούλων, αμοιβών βάσει έργου ή συνδυασμός και των δύο.

Data-as-a-Service (DaaS) για τη γεωργία:

Περιγραφή: Συγκέντρωση και ανάλυση γεωργικών δεδομένων από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, δορυφόρων και μετεωρολογικών σταθμών. Παροχή πολύτιμων πληροφοριών και προβλέψεων στους αγρότες.

Μοντέλο εσόδων: Πρόσβαση βάσει συνδρομής σε δεδομένα και πληροφορίες, με διαφορετικά επίπεδα τιμολόγησης ανάλογα με την κλίμακα των επιχειρήσεων.

Έξυπνες λύσεις για θερμοκήπια:

Περιγραφή: Ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων θερμοκηπίων με αυτοματοποιημένο έλεγχο του κλίματος, αισθητήρες παρακολούθησης και άρδευση ακριβείας για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Μοντέλο εσόδων: Πώληση έξυπνων συστημάτων θερμοκηπίων ως εφάπαξ αγορά ή προσφορά συνδρομητικού μοντέλου με συνεχή υποστήριξη και ενημερώσεις.

Agri-FinTech:

Περιγραφή: Συνδυασμός γεωργικής τεχνολογίας με χρηματοοικονομικές υπηρεσίες για την αντιμετώπιση προκλήσεων όπως η πρόσβαση σε πιστώσεις, η ασφάλιση καλλιεργειών και ο οικονομικός προγραμματισμός για τους αγρότες.

Μοντέλο εσόδων: Χρέωση τελών για χρηματοοικονομικές υπηρεσίες, τόκοι δανείων ή ανάληψη ποσοστού από τα ασφάλιστρα.

Συστήματα κάθετης καλλιέργειας:

Περιγραφή: Εφαρμογή λύσεων κάθετης γεωργίας με ελεγχόμενα περιβάλλοντα και προηγμένες τεχνολογίες. Προσφορά αρθρωτών συστημάτων για καλλιέργεια σε εσωτερικούς χώρους.

Μοντέλο εσόδων: Πώληση συστημάτων κάθετης καλλιέργειας, παροχή συνεχιζόμενης υποστήριξης και πιθανή συνεργασία με αγρότες σε μοντέλα διαμοιρασμού εσόδων.

Εμπορία άνθρακα και πιστώσεις:

Περιγραφή: Ανάπτυξη λύσεων που βοηθούν τους αγρότες να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και να δεσμεύσουν άνθρακα. Διευκόλυνση της συμμετοχής σε αγορές πιστωτικών μονάδων άνθρακα.

Μοντέλο εσόδων: Χρέωση τελών για τις υπηρεσίες μείωσης και αντιστάθμισης του άνθρακα, συμμετοχή σε αγορές πιστωτικών μονάδων άνθρακα ή ανάληψη ποσοστού από τις πωλήσεις πιστωτικών μονάδων άνθρακα.

Κατά το σχεδιασμό τεχνοοικονομικών επιχειρηματικών μοντέλων για τη Γεωργία 4.0, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι συγκεκριμένες ανάγκες των γεωργών, να παρέχεται απτή αξία και να δημιουργούνται βιώσιμες ροές εσόδων. Επιπλέον, οι συνεργασίες με γεωργικές οργανώσεις, ερευνητικά ιδρύματα και κυβερνητικούς φορείς μπορούν να ενισχύσουν την υιοθέτηση και την επιτυχία αυτών των επιχειρηματικών μοντέλων.

3.4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΩΝ, ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η Γεωργία 4.0 αφορά τη συνδεσιμότητα. Πέρα από την εισαγωγή νέων εργαλείων και πρακτικών, η πραγματική υπόσχεση της Γεωργίας 4.0 όσον αφορά την αύξηση της παραγωγικότητας έγκειται στην ικανότητα συλλογής, χρήσης και ανταλλαγής δεδομένων από απόσταση. Ένα πρώτο πεδίο εφαρμογής είναι η χρήση του IoT για τη συλλογή και δημοσίευση πληροφοριών σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής και το αγρόκτημα. Αυτό μπορεί να φτάσει από τη χρήση ψηφιακών εργαλείων για τη διευκόλυνση και την αυτοματοποίηση των νομικών και φορολογικών δηλώσεων μέχρι την αυξημένη ιχνηλασιμότητα των τροφίμων μέσω

της δημοσίευσης λεπτομερών πληροφοριών για τα προϊόντα, την ποιότητα και την προέλευση. Αυτό το είδος περιπτώσεων χρήσης είναι σχετικά εύκολο να αναπτυχθεί και προηγείται στην υιοθέτηση, καθώς απαιτεί μόνο μια περιορισμένη ενσωμάτωση με το οικοσύστημα παραγωγής.

Μια άλλη κατηγορία περιπτώσεων χρήσης βασίζεται στη σύνδεση των δεδομένων των γεωργικών εργαλείων με τους κατασκευαστές τους. Από την άποψη αυτή, μια βασική περίπτωση χρήσης του γεωργικού εξοπλισμού είναι η προγνωστική συντήρηση. Η ανάπτυξη αισθητήρων και η συνδεσιμότητα επιτρέπει στους κατασκευαστές να παρακολουθούν τη χρήση του προϊόντος. Μπορούν να ανιχνεύσουν έγκαιρα μια απώλεια απόδοσης και να προσφέρουν εργασίες προληπτικής συντήρησης. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται βοηθούν τον κατασκευαστή να κατανοήσει καλύτερα τις ανάγκες και τις χρήσεις για να βελτιώσει τη σειρά προϊόντων του. Πέρα από αυτές τις αρχικές περιπτώσεις χρήσης, υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία ευκαιριών που αφορά τη χρήση των δεδομένων που συλλέγονται για την άμεση βελτίωση των πρακτικών παραγωγής, των καλλιεργειών και των εργαλείων.

Αυτή η προσέγγιση είναι πολύ ελπιδοφόρα, καθώς θα μπορούσε να επιτρέψει σημαντικές αυξήσεις της παραγωγικότητας και βελτιστοποιήσεις στη χρήση λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων και καυσίμων. Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις, θα μπορούσε να επιτρέψει αύξηση του εισοδήματος κατά 20%, ενώ παράλληλα θα μπορούσε να μειώσει την κατανάλωση ζιζανιοκτόνων και καυσίμων κατά 10% έως 20%. Ωστόσο, αυτές οι περιπτώσεις χρήσης θα χρειαστούν χρόνο για να αναπτυχθούν, καθώς απαιτούν εκτεταμένη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων στο επίπεδο του οικοσυστήματος (επιτρέποντας την ανάλυση δεδομένων για πολλές εκμεταλλεύσεις).

Επιπτώσεις στα επιχειρηματικά μοντέλα και τα οικοσυστήματα

Η Γεωργία 4.0 μετασχηματίζει τα επιχειρηματικά οικοσυστήματα και ανοίγει νέα περιθώρια στην αλυσίδα αξίας και στην ανάπτυξη νέων τρόπων εσόδων. Τα συνδεδεμένα αντικείμενα θεωρούνται συχνά ως ένας τρόπος παροχής πρόσθετων υπηρεσιών πάνω στον υπάρχοντα εξοπλισμό. Ένα πρώτο αξιοσημείωτο παράδειγμα

ανάπτυξης υπηρεσιών είναι οι υπηρεσίες προληπτικής συντήρησης. Όμως τα συνδεδεμένα αντικείμενα επιτρέπουν και άλλα είδη υπηρεσιών, όπως συμβουλές σχετικά με τις πρακτικές και τον προγραμματισμό της παραγωγής ή υπηρεσίες πρόβλεψης και προγραμματισμού.

Η ανάπτυξη του IoT στη γεωργική βιομηχανία δημιουργεί ένα πιο σύνθετο δίκτυο αξίας, με δυνητικά νέους φορείς στην αλυσίδα αξίας (όπως οι πάροχοι συνδεσιμότητας) και νέους ρόλους των παρόχων υπηρεσιών και εφαρμογών. Το επιχειρηματικό και ανταγωνιστικό οικοσύστημα για τους πωλητές και τους κατασκευαστές γεωργικού εξοπλισμού διευρύνεται καθώς τα προϊόντα τους συνδέονται όλο και περισσότερο. Για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί θα πρέπει να προσφέρουν πιο ολοκληρωμένες υπηρεσίες "Διαχείρισης Αγροκτήματος" και όχι μόνο παραδοσιακά προϊόντα. Καθώς οι προσφορές διαφοροποιούνται, αντιμετωπίζουν τον ανταγωνισμό περισσότερων φορέων, ενώ παράλληλα χρειάζεται να δημιουργήσουν σχέσεις με νέους φορείς, όπως οι πάροχοι συνδεσιμότητας (MNOs) ή οι πάροχοι εφαρμογών λογισμικού.

Η ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στην ικανότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων. Όμως, για να επιτευχθούν σημαντικά αποτελέσματα και να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή, τα δεδομένα συχνά πρέπει να συλλέγονται και να αντιμετωπίζονται σε υψηλότερο επίπεδο από μια μεμονωμένη εκμετάλλευση/κτηνοτροφική εκμετάλλευση για τον εντοπισμό μοτίβων. Αυτό προϋποθέτει την ανάπτυξη μηχανισμών ανταλλαγής δεδομένων και τη συνεργασία πολυάριθμων φορέων με διαφορετικά και ενδεχομένως αντικρουόμενα συμφέροντα. Η οργάνωση αυτών των ανταλλαγών δεδομένων πρόκειται να αποτελέσει ένα κρίσιμο σημείο στην αλυσίδα αξίας με τη δυνατότητα να παραχθεί γνώση από τα δεδομένα και να δημιουργηθεί ένα επιχειρηματικό μοντέλο υπηρεσιών βελτιστοποίησης.

Για να αξιοποιηθεί αυτή η ευκαιρία, και ομοίως με άλλες βιομηχανίες, η γεωργική βιομηχανία εποπτεύει την ανάπτυξη πλατφορμών IoT. Η στρατηγική των φορέων (συχνά μεγάλων παικτών του κλάδου, όπως οι κατασκευαστές

εξοπλισμού όπως η John Deere ή οι πάροχοι καλλιεργειών όπως η Monsanto), είναι να εδραιωθούν σε κυρίαρχη θέση μέσω τεχνολογικών πλατφορμών και πλατφορμών δεδομένων. Ο ρόλος των τεχνολογικών πλατφορμών, με επίκεντρο τον έλεγχο των τεχνολογικών φορέων υλοποίησης, μπορεί να είναι σημαντικός για τη θέσπιση προτύπων και την εξασφάλιση της αγοράς από νωρίς.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος της αξίας θα βρεθεί στην περίπτωση του γεωργικού τομέα στον έλεγχο των δεδομένων. Αναλαμβάνοντας τον έλεγχο του συνόλου των δεδομένων και παρέχοντας υπηρεσίες που επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής, οι βιομηχανικοί φορείς μπορούν να εξασφαλίσουν μια ισχυρή θέση με ισχυρά εμπόδια εισόδου και επαναλαμβανόμενα έσοδα. Ωστόσο, η τάση αυτή πρόκειται να ενισχύσει την αιχμαλωσία των γεωργών στους βιομηχανικούς φορείς.

3.5 ΕΚΤΡΟΦΗ ΖΩΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑ 4.0

Η Γεωργία 4.0, γνωστή και ως τέταρτη γεωργική επανάσταση, περιλαμβάνει την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της βιωσιμότητας και της παραγωγικότητας στον γεωργικό τομέα. Στο πλαίσιο της κτηνοτροφίας, η έννοια της "έξυπνης κτηνοτροφίας" αναφέρεται στην εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών για τη βελτίωση της διαχείρισης και της ευημερίας των ζώων. Ακολουθούν βασικές πτυχές της Γεωργίας 4.0 στο πλαίσιο της έξυπνης κτηνοτροφίας:

Αισθητήρες και wearables: Αξιοποίηση αισθητήρων και φορητών συσκευών με δυνατότητα IoT για την παρακολούθηση της υγείας, της συμπεριφοράς και της θέσης του ζωικού κεφαλαίου. Οι αισθητήρες μπορεί να περιλαμβάνουν αισθητήρες θερμοκρασίας, συσκευές εντοπισμού GPS, επιταχυνσιόμετρα και συσκευές παρακολούθησης της υγείας.

Δεδομένα σε πραγματικό χρόνο: Συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με ζωτικά σημεία, επίπεδα δραστηριότητας και περιβαλλοντικές συνθήκες εντός των κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων.

Ανάλυση δεδομένων: Εφαρμογή της ανάλυσης δεδομένων για την επεξεργασία των πληροφοριών που συλλέγονται από τους αισθητήρες και την εξαγωγή αξιοποιήσιμων πληροφοριών. Ανάλυση τάσεων, εντοπισμός ανωμαλιών και λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του ζωικού κεφαλαίου.

Αναλυτική πρόβλεψη: Εφαρμογή προγνωστικών αναλύσεων για την πρόβλεψη προβλημάτων υγείας, τη βελτιστοποίηση στρατηγικών σίτισης και τη βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας της εκμετάλλευσης.

Σίτιση ακριβείας: Ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων σίτισης που παρέχουν ακριβή και προσαρμοσμένη διατροφή σε μεμονωμένα ζώα. Αξιοποίηση δεδομένων σχετικά με την υγεία των ζώων, τους ρυθμούς ανάπτυξης και τις διατροφικές απαιτήσεις για τη βελτιστοποίηση των σχεδίων σίτισης.

Έξυπνες ταΐστρες: Εφαρμογή έξυπνων ταϊστών που διανέμουν τροφή βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη διατροφή για κάθε ζώο.

Τεχνολογία RFID: Χρήση της τεχνολογίας αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) για την αναγνώριση και τον εντοπισμό μεμονωμένων ζώων. Αυτό βοηθά στην παρακολούθηση της μετακίνησης των ζώων, στη διαχείριση της υγείας του κοπαδιού και στην παρακολούθηση της παραγωγικότητας.

Παρακολούθηση GPS: Χρήση εντοπισμού GPS για την υπαίθρια βόσκηση, επιτρέποντας στους κτηνοτρόφους να παρακολουθούν τη θέση και τη συμπεριφορά των ζώων σε πραγματικό χρόνο.

Αυτοματοποιημένος έλεγχος του κλίματος: Εφαρμογή αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου του κλίματος στους στάβλους για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του εξαερισμού. Αυτό συμβάλλει στη δημιουργία βέλτιστων συνθηκών για τα ζώα.

Υποδομές συνδεδεμένες με το IoT: Σύνδεση των υποδομών της φάρμας, συμπεριλαμβανομένων των στάβλων, σε δίκτυα IoT για κεντρική παρακολούθηση και έλεγχο.

Συστήματα έγκαιρης ανίχνευσης: Χρήση έξυπνων αισθητήρων και καμερών για την ανίχνευση πρώιμων ενδείξεων ασθένειας ή δυσφορίας στα ζώα. Εφαρμόστε μοντέλα πρόβλεψης ασθενειών με βάση την ανάλυση δεδομένων για την πρόληψη κρουσμάτων.

Υπηρεσίες τηλεϊατρικής κτηνιατρικής: Ενσωμάτωση υπηρεσιών τηλεϊατρικής για να καταστεί δυνατή η εξ αποστάσεως διαβούλευση με κτηνιάτρους, διευκολύνοντας την έγκαιρη παρέμβαση και μειώνοντας την ανάγκη για φυσικές επισκέψεις.

Παρακολούθηση της αναπαραγωγής: Εφαρμογή τεχνολογιών όπως υπερήχων και έξυπνων συσκευών παρακολούθησης για την παρακολούθηση της αναπαραγωγικής υγείας και των κύκλων των ζώων.

Προγράμματα αναπαραγωγής με βάση την τεχνητή νοημοσύνη: Εφαρμογή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης (AI) για βελτιστοποιημένα προγράμματα αναπαραγωγής, λαμβάνοντας υπόψη τα γενετικά χαρακτηριστικά και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων: Εφαρμογή έξυπνων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων για την αποτελεσματική διαχείριση της κοπριάς και των αποβλήτων.

Περιβαλλοντικοί αισθητήρες: Ανάπτυξη περιβαλλοντικών αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και του νερού στη φάρμα, εξασφαλίζοντας ένα υγιές και βιώσιμο περιβάλλον τόσο για τα ζώα όσο και για τους εργαζόμενους.

Πλατφόρμες διαχείρισης γεωργικών εκμεταλλεύσεων: Αξιοποίηση συνεργατικών πλατφορμών που ενσωματώνουν δεδομένα από διάφορες πηγές, επιτρέποντας στους αγρότες να διαχειρίζονται το ζωικό κεφάλαιο, να έχουν πρόσβαση σε αναλύσεις και να μοιράζονται πληροφορίες με τους ενδιαφερόμενους φορείς.

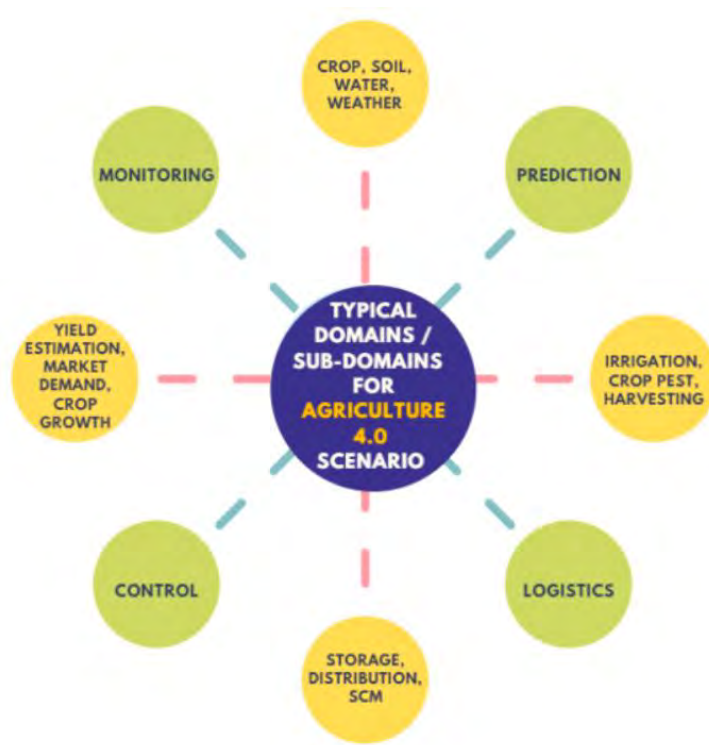
Κοινή χρήση δεδομένων: Διευκόλυνση της ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των γεωργών, των ερευνητών και των ενδιαφερόμενων φορέων του κλάδου για την ενίσχυση της συλλογικής γνώσης και τη βελτίωση των βέλτιστων πρακτικών.

Διαφανής αλυσίδα εφοδιασμού: Αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain για διαφανείς και ανιχνεύσιμες αλυσίδες εφοδιασμού στον κλάδο της κτηνοτροφίας. Διασφάλιση της προέλευσης των προϊόντων κρέατος και παροχή πληροφοριών στους καταναλωτές σχετικά με τις συνθήκες υπό τις οποίες εκτράφηκαν τα ζώα.

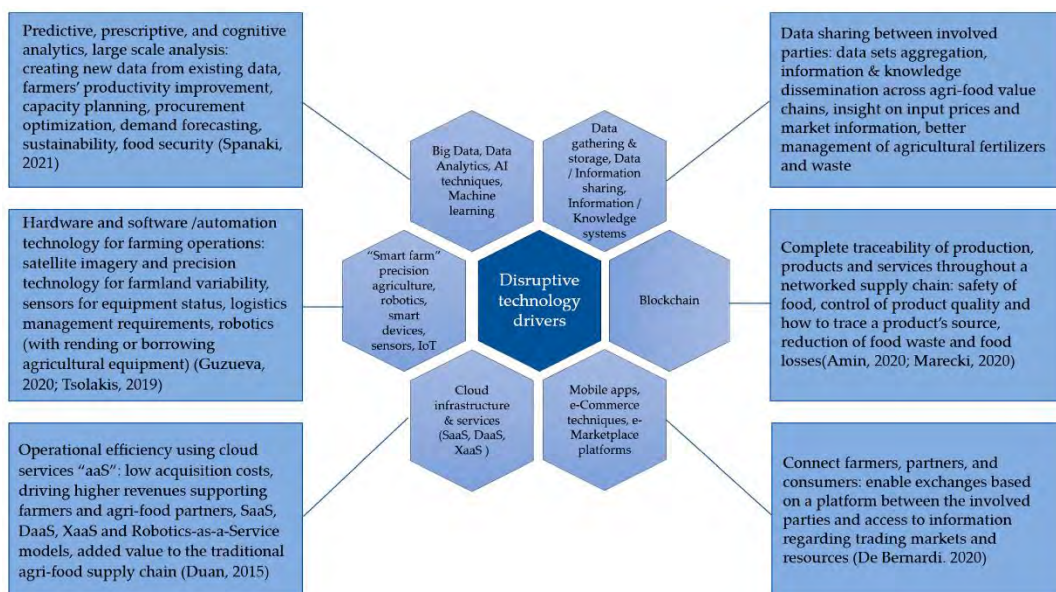
Ρομποτικό άρμεγμα: Εφαρμογή αυτοματοποιημένων συστημάτων αρμέγματος που επιτρέπουν στις αγελάδες να αρμέγονται αυτόνομα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα προγράμματα αρμέγματος με βάση τη συμπεριφορά των αγελάδων και τις μετρήσεις της υγείας τους.

Ανάλυση συμπεριφοράς: Αξιοποίηση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για την ανάλυση της συμπεριφοράς των ζώων. Ανίχνευση σημείων κινδύνου, τραυματισμού ή μη φυσιολογικής συμπεριφοράς, επιτρέποντας την άμεση παρέμβαση.

Με την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών, η Γεωργία 4.0 στην έξυπνη διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου στοχεύει στη βελτίωση της ευζωίας των ζώων, την ενίσχυση της παραγωγικότητας, τη μείωση της αναποτελεσματικότητας των πόρων και την παροχή στους γεωργούς πολύτιμων πληροφοριών βάσει δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων. Η υιοθέτηση πρακτικών έξυπνης κτηνοτροφίας συμβάλλει σε πιο βιώσιμες και αποδοτικές γεωργικές δραστηριότητες.



Εικόνα 7: Βασικοί τομείς δραστηριότητας για το Agriculture 4.0 [48]



Εικόνα 8: Οδηγοί τεχνολογίας για το Agriculture 4.0 [51]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB

4.1 MATLAB ΚΑΙ SMART FARMING

Το Matlab, μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου και περιβάλλον για αριθμητικούς υπολογισμούς, χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας και της έξυπνης γεωργίας. Η έξυπνη γεωργία περιλαμβάνει τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών, όπως αισθητήρες, αυτοματισμούς και ανάλυση δεδομένων, για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της παραγωγικότητας των γεωργικών πρακτικών. Ακολουθούν διάφοροι τρόποι με τους οποίους το Matlab μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο της έξυπνης γεωργίας:

Ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων:

Το Matlab παρέχει ισχυρά εργαλεία για την ανάλυση και την οπτικοποίηση δεδομένων. Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Matlab για να αναλύσουν δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες, όπως αισθητήρες υγρασίας εδάφους, μετεωρολογικούς σταθμούς και συσκευές παρακολούθησης της υγείας των καλλιεργειών.

Τα εργαλεία οπτικοποίησης του Matlab βοηθούν τους αγρότες να κατανοήσουν τα μοτίβα, τις τάσεις και τις ανωμαλίες στα δεδομένα τους, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

Επεξεργασία εικόνας για την παρακολούθηση καλλιεργειών:

Η εργαλειοθήκη επεξεργασίας εικόνας του Matlab μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση εικόνων που λαμβάνονται από μη επανδρωμένα αεροσκάφη ή άλλες συσκευές απεικόνισης για την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών. Αυτό περιλαμβάνει τον εντοπισμό ασθενειών, παρασίτων και ελλείψεων θρεπτικών συστατικών.

Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας μπορούν να υλοποιηθούν στο Matlab για την αυτοματοποίηση της ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων, παρέχοντας μια γρήγορη και ακριβή αξιολόγηση των συνθηκών των καλλιεργειών.

Συστήματα ελέγχου για τη γεωργία ακριβείας:

Η εργαλειοθήκη συστημάτων ελέγχου του Matlab είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό και την υλοποίηση συστημάτων ελέγχου στη γεωργία ακριβείας. Αυτό περιλαμβάνει την αυτοματοποίηση συστημάτων άρδευσης, την εφαρμογή λιπασμάτων με μεταβλητό ρυθμό και αυτόνομα οχήματα για τη φύτευση και τη συγκομιδή.

Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Matlab για να μοντελοποιήσουν και να προσομοιώσουν διάφορες στρατηγικές ελέγχου πριν τις εφαρμόσουν στον αγρό.

Προβλεπτική μοντελοποίηση και μηχανική μάθηση:

Το Matlab υποστηρίζει τη μηχανική μάθηση και την προγνωστική μοντελοποίηση, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί για την πρόβλεψη των αποδόσεων των καλλιεργειών, των επιδημιών ασθενειών και των βέλτιστων χρόνων φύτευσης με βάση ιστορικά δεδομένα.

Οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης στο Matlab για τη δημιουργία μοντέλων που προβλέπουν μελλοντικές τάσεις και λαμβάνουν προληπτικές αποφάσεις για τη βελτιστοποίηση των γεωργικών πρακτικών.

Ενσωμάτωση IoT:

Το Matlab μπορεί να ενσωματωθεί με συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) που χρησιμοποιούνται συνήθως στην έξυπνη γεωργία. Αυτό περιλαμβάνει αισθητήρες, ενεργοποιητές και μονάδες επικοινωνίας.

Οι αγρότες μπορούν να αναπτύξουν προσαρμοσμένους αλγορίθμους στο Matlab για την επεξεργασία δεδομένων από συσκευές IoT, επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαφόρων γεωργικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο.

Simulink για μοντελοποίηση συστημάτων:

Το Simulink, ένα γραφικό περιβάλλον μοντελοποίησης και προσομοίωσης στο Matlab, είναι χρήσιμο για τη μοντελοποίηση σύνθετων συστημάτων στην έξυπνη γεωργία, όπως συστήματα άρδευσης ή περιβάλλοντα θερμοκηπίων.

Το Simulink επιτρέπει στους αγρότες και τους ερευνητές να προσομοιώνουν τη συμπεριφορά διαφόρων στοιχείων και να βελτιστοποιούν τις παραμέτρους του συστήματος πριν από την εφαρμογή τους στον πραγματικό κόσμο.

Ενσωμάτωση τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ:

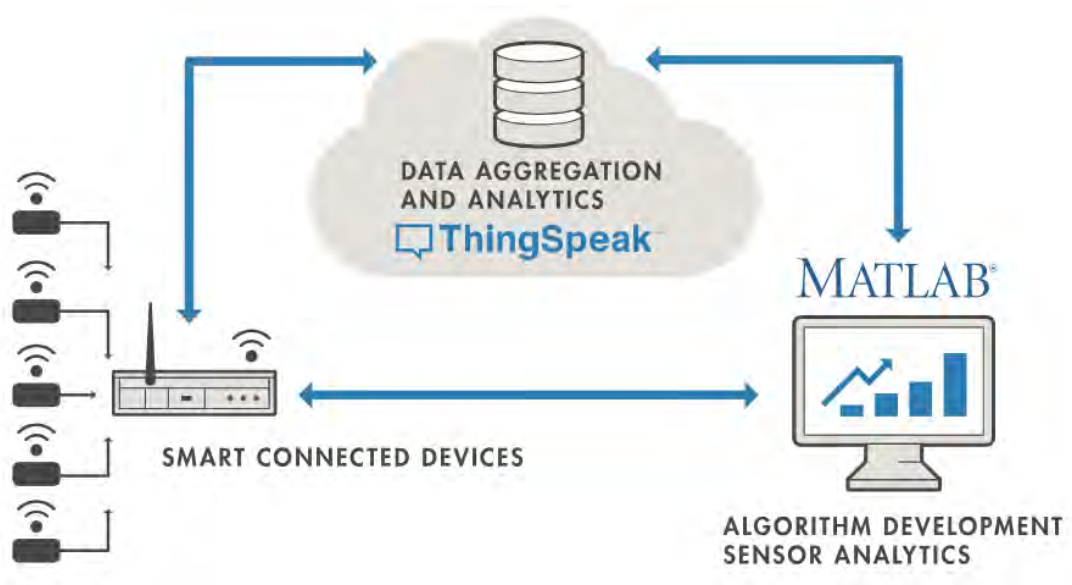
Το Matlab μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων από τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, όπως δορυφορικές εικόνες και δεδομένα GPS.

Η ενσωμάτωση με δεδομένα Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) στο Matlab βοηθά τους αγρότες να λαμβάνουν χωρικά τεκμηριωμένες αποφάσεις, όπως η βελτιστοποίηση της διάταξης των αγρών και η κατανομή των πόρων.

Συνοψίζοντας, το Matlab είναι ένα ευέλικτο εργαλείο που μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες πτυχές της έξυπνης γεωργίας, από την ανάλυση δεδομένων και την οπτικοποίηση έως τα συστήματα ελέγχου, την προγνωστική μοντελοποίηση και την ενσωμάτωση με σύγχρονες τεχνολογίες. Η ευελιξία του και η εκτεταμένη υποστήριξη της εργαλειοθήκης του το καθιστούν πολύτιμο πόρο για τους ερευνητές, τους μηχανικούς και τους αγρότες της γεωργικής βιομηχανίας. Το ThingSpeak™ είναι μια υπηρεσία πλατφόρμας ανάλυσης IoT που μας επιτρέπει να συγκεντρώνουμε, να οπτικοποιούμε και να αναλύουμε ζωντανές ροές δεδομένων στο cloud. Το ThingSpeak παρέχει άμεση οπτικοποίηση των δεδομένων που αποστέλλονται από τις συσκευές μας στο ThingSpeak. Με τη δυνατότητα εκτέλεσης κώδικα MATLAB® στο ThingSpeak μπορούμε να εκτελούμε online ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων καθώς αυτά εισέρχονται. Το ThingSpeak χρησιμοποιείται συχνά για την κατασκευή πρωτοτύπων και την απόδειξη της έννοιας συστημάτων IoT που απαιτούν ανάλυση.

Οι λύσεις IoT κατασκευάζονται για πολλές κάθετες εφαρμογές, όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση και ο έλεγχος, η παρακολούθηση της υγείας, η παρακολούθηση του στόλου οχημάτων, η βιομηχανική παρακολούθηση και ο έλεγχος και ο οικιακός αυτοματισμός.

Σε υψηλό επίπεδο, πολλά συστήματα IoT μπορούν να περιγραφούν χρησιμοποιώντας το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 9: MATLAB και THINGSPEAK για εφαρμογές IoT και έξυπνων συσκευών

Στα αριστερά, έχουμε τις έξυπνες συσκευές (τα "πράγματα" στο IoT) που ζουν στην άκρη του δικτύου. Αυτές οι συσκευές συλλέγουν δεδομένα και περιλαμβάνουν πράγματα όπως φορητές συσκευές, ασύρματους αισθητήρες θερμοκρασίας, μετρητές καρδιακού ρυθμού και αισθητήρες υδραυλικής πίεσης, καθώς και μηχανήματα στο χώρο του εργοστασίου.

Στη μέση, έχουμε το σύννεφο όπου τα δεδομένα από πολλές πηγές συγκεντρώνονται και αναλύονται σε πραγματικό χρόνο, συχνά από μια πλατφόρμα ανάλυσης IoT που έχει σχεδιαστεί για αυτόν τον σκοπό.

Η δεξιά πλευρά του διαγράμματος απεικονίζει την ανάπτυξη αλγορίθμων που σχετίζονται με την εφαρμογή IoT. Εδώ ένας μηχανικός ή ένας επιστήμονας δεδομένων προσπαθεί να αποκτήσει εικόνα για τα δεδομένα που συλλέγονται, πραγματοποιώντας ιστορική ανάλυση των δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση, τα δεδομένα αντλούνται από την πλατφόρμα IoT σε ένα περιβάλλον επιτραπέζιου λογισμικού για να μπορέσει ο μηχανικός ή ο επιστήμονας να δημιουργήσει πρωτότυπα αλγορίθμων που μπορεί τελικά να εκτελεστούν στο σύννεφο ή στην ίδια την έξυπνη συσκευή.

Ένα σύστημα IoT περιλαμβάνει όλα αυτά τα στοιχεία. Το ThingSpeak εντάσσεται στο κομμάτι του cloud του διαγράμματος και παρέχει μια πλατφόρμα για τη γρήγορη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο.

Βασικά χαρακτηριστικά του ThingSpeak

Το ThingSpeak μάς επιτρέπει να συγκεντρώνουμε, να οπτικοποιούμε και να αναλύουμε ζωντανές ροές δεδομένων στο σύννεφο. Ορισμένες από τις βασικές δυνατότητες του ThingSpeak περιλαμβάνουν τη δυνατότητα:

- Εύκολη διαμόρφωση συσκευών για την αποστολή δεδομένων στο ThingSpeak χρησιμοποιώντας δημοφιλή πρωτόκολλα IoT.
- Να οπτικοποιούμε τα δεδομένα των αισθητήρων μας σε πραγματικό χρόνο.
- Συγκέντρωση δεδομένων κατ' απαίτηση από πηγές τρίτων.
- Να χρησιμοποιεί τη δύναμη του MATLAB για να βγάλει νόημα από τα δεδομένα του IoT μας.
- Να τρέχει τις αναλύσεις IoT αυτομάτως βάσει χρονοδιαγραμμάτων ή συμβάντων.
- Δημιουργία πρωτοτύπων και συστημάτων IoT χωρίς να εγκαθιστάτε διακομιστές ή να αναπτύσσετε λογισμικό ιστού.
- Ενεργώντας αυτόματα με βάση τα δεδομένα και επικοινωνώντας με υπηρεσίες τρίτων, όπως το Twilio® ή το Twitter®.

4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΟ MATLAB

Η μοντελοποίηση των απωλειών διαδρομής είναι ζωτικής σημασίας στο πλαίσιο της Γεωργίας 4.0, όπου η ασύρματη επικοινωνία και η συνδεσιμότητα διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη δημιουργία εφαρμογών έξυπνης γεωργίας. Η απώλεια διαδρομής αναφέρεται στην εξασθένηση της ισχύος του σήματος καθώς αυτό ταξιδεύει μέσω του αέρα ή άλλων μέσων μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη. Στο γεωργικό πλαίσιο, η μοντελοποίηση της απώλειας διαδρομής βοηθά στη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης ασύρματων δικτύων αισθητήρων, συστημάτων επικοινωνίας και άλλων συσκευών IoT.

Ακολουθεί μια γενική προσέγγιση για τη μοντελοποίηση της απώλειας διαδρομής για τη Γεωργία 4.0:

Κατανόηση του περιβάλλοντος:

Λαμβάνονται υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά του γεωργικού περιβάλλοντος, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει ανοιχτά χωράφια, βλάστηση και διαφορετικούς τύπους καλλιεργειών. Η βλάστηση μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διάδοση του σήματος.

Επιλογή συχνότητας:

Επιλογή κατάλληλων συχνοτήτων για επικοινωνία με βάση τα χαρακτηριστικά του γεωργικού περιβάλλοντος. Οι υψηλότερες συχνότητες είναι πιο ευαίσθητες στην απορρόφηση από τη βλάστηση, επομένως η επιλογή των ζωνών συχνοτήτων μπορεί να επηρεάσει την απώλεια διαδρομής.

Απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου (FSPL):

Αρχικά, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το βασικό μοντέλο απώλειας διαδρομής ελεύθερου χώρου, το οποίο περιγράφει την εξασθένηση ενός σήματος σε ελεύθερο χώρο χωρίς εμπόδια. Η FSPL δίνεται από τον τύπο:

$$FSPL(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \quad (1)$$

όπου:

d είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη,
 f είναι η συχνότητα, και
 c είναι η ταχύτητα του φωτός.

Απώλεια διαδρομής στη βλάστηση:

Ενσωμάτωση μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη την επίδραση της βλάστησης στη διάδοση του σήματος. Η βλάστηση μπορεί να εισάγει πρόσθετες απώλειες διαδρομής λόγω απορρόφησης, ανάκλασης και σκέδασης.

Πρέπει να εξεταστούν εμπειρικά μοντέλα ή μετρήσεις που λαμβάνουν υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά της βλάστησης στη γεωργική περιοχή.

Μοντελοποίηση εδάφους και εμποδίων:

Συνεκτίμηση των χαρακτηριστικών του εδάφους και των εμποδίων στο μοντέλο απώλειας διαδρομής. Στα γεωργικά τοπία, μπορεί να υπάρχουν διακυμάνσεις στο υψόμετρο, κτίρια και άλλες κατασκευές που μπορούν να επηρεάσουν τη διάδοση του σήματος.

Χρήση βάσεων δεδομένων εδάφους και εργαλείων μοντελοποίησης για την προσομοίωση της επίδρασης αυτών των χαρακτηριστικών στην απώλεια διαδρομής.

Επιδράσεις πολλαπλών διαδρομών:

Να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις πολλαπλών διαδρομών που προκαλούνται από ανακλάσεις και σκέδαση στο περιβάλλον. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές με κτίρια, δέντρα ή άλλες κατασκευές που μπορούν να προκαλέσουν ανακλάσεις σήματος.

Μοντέλα όπως το μοντέλο απώλειας διαδρομής σε λογαριθμική απόσταση ή το μοντέλο Okumura-Hata μπορούν να προσαρμοστούν για να συμπεριλάβουν τα φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών.

Εμπειρικά μοντέλα:

Χρήση εμπειρικών μοντέλων που προέρχονται από μετρήσεις σε παρόμοια γεωργικά περιβάλλοντα. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να λαμβάνουν υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά του εδάφους, της βλάστησης και άλλων χαρακτηριστικών.

Προσομοίωση και επαλήθευση:

Χρήση εργαλείων προσομοίωσης, όπως το Matlab ή άλλες πλατφόρμες προσομοίωσης ασύρματων επικοινωνιών, για την επικύρωση του μοντέλου απώλειας διαδρομής. Η προσομοίωση επιτρέπει τη δοκιμή διαφορετικών σεναρίων και διαμορφώσεων πριν από την πραγματική ανάπτυξη.

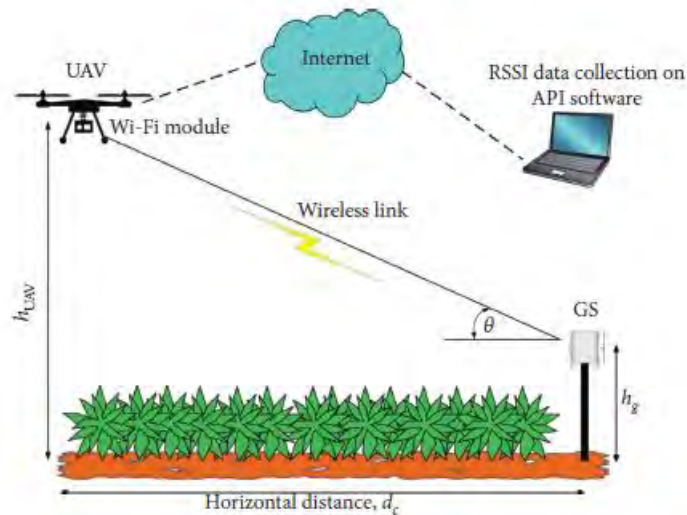
Εκστρατείες μέτρησης:

Διεξαγωγή εκστρατειών μέτρησης στο πραγματικό γεωργικό περιβάλλον για την επικύρωση και τη βελτίωση του μοντέλου απώλειας διαδρομής. Οι μετρήσεις στον πραγματικό κόσμο βοηθούν να ληφθούν υπόψη παράγοντες που μπορεί να μην αποτυπώνονται πλήρως στις προσομοιώσεις.

Προσαρμοστικές στρατηγικές επικοινωνίας:

Με βάση το μοντέλο απώλειας διαδρομής, ανάπτυξη προσαρμοστικών στρατηγικών επικοινωνίας, όπως έλεγχος ισχύος ή μεταπήδηση συχνότητας, για τον μετριασμό των επιπτώσεων της απώλειας διαδρομής σε διάφορες περιοχές του γεωργικού αγρού.

Πρέπει πάντοτε να έχουμε υπόψη ότι η μοντελοποίηση των απωλειών διαδρομής είναι μια δυναμική διαδικασία και το μοντέλο μπορεί να χρειαστεί να προσαρμοστεί με βάση τα ειδικά χαρακτηριστικά του γεωργικού περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις των εφαρμογών της Γεωργίας 4.0. Οι τακτικές ενημερώσεις και η επαλήθευση με βάση μετρήσεις στον πραγματικό κόσμο είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ακρίβειας του μοντέλου απώλειας διαδρομής.



Εικόνα 10: Παράδειγμα χρήσης UAV για καλλιέργειες τροφής ζώων [52]

Η εστίαση στις επικοινωνίες με βάση τα UAV σε σενάρια SF, όπως η επικοινωνία αέρος-εδάφους (A2G) ή η επικοινωνία εδάφους-αέρος (G2A), έχει περιγραφεί με τη χρήση UAV για την επικοινωνία με συσκευές IoT ή GS, όπως αισθητήρες υγρασίας εδάφους, αισθητήρες υγρασίας ή αισθητήρες πολλαπλών περιβαλλοντικών συνθηκών. Για την πραγματοποίηση αξιόπιστων επικοινωνιών, ένα αναλυτικό μοντέλο καναλιού μεταξύ GS και UAV απαιτεί το χαρακτηριστικό διάδοσης υπό ορισμένα σενάρια SF [52]. Με τον δείκτη ισχύος λαμβανόμενου σήματος (RSSI) και το μοντέλο απώλειας διαδρομής είναι σημαντικά βασικές παράμετροι για την ανάλυση του προϋπολογισμού της σύνδεσης.

Για τη ζεύξη επικοινωνίας GS προς UAV, η ισχύς του σήματος ισχύος περιορίζεται στο GS όταν το σήμα μεταδίδεται από το GS στο δέκτη του UAV. Κατά συνέπεια, η επαρκής ζώνη κάλυψης για το GS είναι περιορισμένη. Σε αυτή την κατάσταση, η ζεύξη επικοινωνίας θα υποβαθμιστεί, ιδίως όταν το σήμα διαδίδεται σε ελεύθερο χώρο ή σε πυκνές καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό, η μεταβλητή της ποιότητας της σύνδεσης μετάδοσης και της απόδοσης διάδοσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν οι πολλαπλές GS αναπτύσσονται σε SF. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης του GS-to-UAV επηρεάζονται σημαντικά από τα περιβάλλοντα.

Η λαμβανόμενη ισχύς στην οριζόντια απόσταση, d_c , από το GS για το μοντέλο δύο ακτίνων μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_{UAV}(d_c) = P_g G_g G_u \left(\frac{h_g^2 h_{UAV}^2}{d_c^4} \right) \quad (2)$$

Τα αποτελέσματα των ενδεικτικών μετρήσεων απεικονίζονται στον Πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 1. Μετρήσεις καναλιού όπως έχουν εξαχθεί από το test-bed της εργασίας [52]

T-R (m)	Pr (dBm)
1.5	-5
2.3	-15
4	-30
5.5	-40
6.5	-45
7.8	-50
8	-55
9.3	-58
11	-62
11.5	-64
12	-65
13.5	-66
14	-68
15	-70
16	-71
16.5	-72
17	-74
17.5	-75
18	-77
19	-78
20	-79

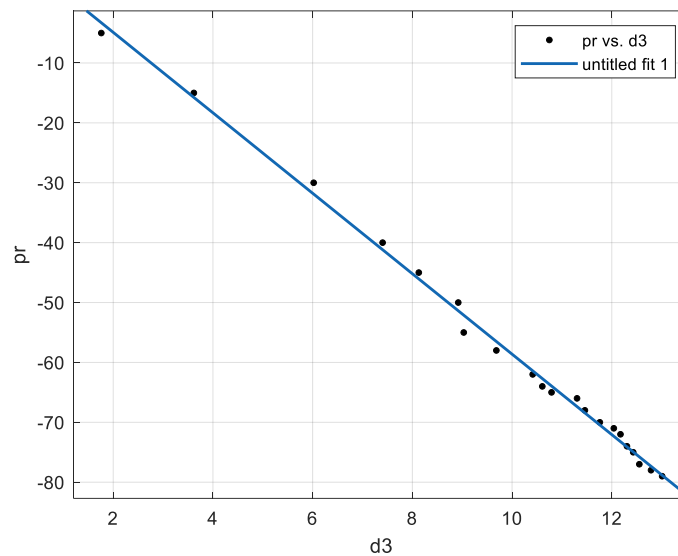
Αν και το MATLAB δεν διαθέτει ένα ειδικό "εργαλείο προσαρμογής καμπυλών" ειδικά προσαρμοσμένο για τη μοντελοποίηση καναλιών, η γενική εργαλειοθήκη προσαρμογής καμπυλών του MATLAB μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Η εργαλειοθήκη προσαρμογής καμπυλών παρέχει ένα γραφικό

περιβάλλον χρήστη (GUI) και ένα σύνολο συναρτήσεων για την προσαρμογή καμπυλών και επιφανειών σε δεδομένα.

Ακολουθεί μια βασική επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το Curve Fitting Toolbox για τη μοντελοποίηση καναλιών:

- Φόρτωση ή δημιουργία δεδομένων: Εισάγουμε τα δεδομένα μέτρησης του καναλιού μας στο MATLAB ή δημιουργήστε συνθετικά δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά του καναλιού που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε.
- Άνοιγμα της εργαλειοθήκης προσαρμογής καμπυλών: Μπορούμε να ανοίξουμε το GUI Curve Fitting Toolbox πληκτρολογώντας `cftool` στο παράθυρο εντολών του MATLAB.
- Φόρτωση δεδομένων στο GUI: Φορτώνουμε τα δεδομένα μας στο GUI Curve Fitting Toolbox κάνοντας κλικ στο κουμπί "Import Data". Εναλλακτικά, μπορούμε να πληκτρολογήσουμε ή να επικολλήσουμε τα δεδομένα μας απευθείας στο εργαλείο.
- Επιλέγουμε έναν τύπο προσαρμογής: Μπορούμε να επιλέξουμε έναν τύπο προσαρμογής που αντιπροσωπεύει καλύτερα τη συμπεριφορά του καναλιού μας. Η εργαλειοθήκη υποστηρίζει μια ποικιλία προκαθορισμένων μοντέλων, όπως πολυώνυμα, εκθετικές συναρτήσεις και προσαρμοσμένες εξισώσεις.
- Προσαρμόζουμε την καμπύλη: Κάνουμε κλικ στο κουμπί "Fit" (Προσαρμογή) για να εκτελέσουμε την προσαρμογή της καμπύλης. Η εργαλειοθήκη θα προσαρμόσει αυτόματα τις παραμέτρους του επιλεγμένου μοντέλου ώστε να ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα μας.
- Οπτικοποιούμε την προσαρμογή: Η εργαλειοθήκη προσαρμογής καμπύλης παρέχει οπτικοποιήσεις των δεδομένων και της προσαρμοσμένης καμπύλης. Μπορούμε να εξερευνήσουμε διαδραστικά την προσαρμογή και να κάνουμε προσαρμογές αν χρειάζεται.
- Αξιολογούμε την καλή προσαρμογή: Μπορούμε να αξιολογήσουμε την καλή προσαρμογή χρησιμοποιώντας στατιστικά στοιχεία που παρέχονται από την εργαλειοθήκη. Αυτό περιλαμβάνει μετρικές όπως το R-τετράγωνο, το RMSE (Root Mean Squared Error) και άλλες.

- Εξαγωγή αποτελεσμάτων προσαρμογής: Εάν είμαστε ικανοποιημένοι με την προσαρμογή, μπορούμε να εξάγουμε τα αποτελέσματα της προσαρμογής, συμπεριλαμβανομένης της εξίσωσης της προσαρμοσμένης καμπύλης και των παραμέτρων, για περαιτέρω ανάλυση ή χρήση στα σενάρια μας MATLAB.



Εικόνα 11: Εφαρμογή curve fitting tool στα αποτελέσματα για εξαγωγή μοντέλου λογαριθμικής απόστασης για την απώλεια διαδρομών

Στην **Εικόνα 11** φαίνεται οπτικοποιημένη η προσαρμογή της γραμμικής καμπύλης επί των μετρήσεων που έχουμε ανακτήσει από την εργασία [52] με σκοπό την παροχή μίας πρότυπης εξίσωσης για τον προσδιορισμό των απωλειών διαδρομής. Τα αποτελέσματα ως προς τα ποσοτικά στοιχεία αυτής της εξίσωσης καταγράφονται παρακάτω:

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -6.717 \quad (-6.917, -6.517)$$

$$p2 = 8.549 \quad (6.473, 10.62)$$

Goodness of fit:

SSE: 32.8

R-square: 0.9962

Adjusted R-square: 0.996

RMSE: 1.314

Παρατηρούμε πως δεν έχουμε απώλεια σκίασης αλλά κέρδος (θετική παράμετρος p_2) και αυτό από τη μία ευθυγραμμίζεται με την θεωρία του μοντέλου δύο ακτινών (εξίσωση 2), και από την άλλη δημιουργεί αποτελέσματα και προοπτικές αναφορικά με την ευστάθεια και την αξιοπιστία της χρήσης UAV για την επιτήρηση των καλλιεργειών με σκοπό την καλύτερη εκτροφή των ζώων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενσωμάτωση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), κοινώς γνωστών ως drones, σε πρακτικές έξυπνης γεωργίας τόσο για την παρακολούθηση των καλλιεργειών όσο και για τη φροντίδα των ζώων γίνεται όλο και πιο δημοφιλής. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με διάφορους αισθητήρες και κάμερες μπορούν να παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για τη γεωργία ακριβείας, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα, την παραγωγικότητα και τη βιωσιμότητα. Ακολουθούν τρόποι με τους οποίους η παρακολούθηση με UAV μπορεί να εφαρμοστεί στην έξυπνη γεωργία τόσο για τις καλλιέργειες όσο και για την εκτροφή των ζώων:

Παρακολούθηση καλλιεργειών:

Τηλεπισκόπηση: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με πολυφασματικές ή υπερφασματικές κάμερες μπορούν να καταγράψουν εικόνες υψηλής ανάλυσης από τους αγρούς των καλλιεργειών. Οι εικόνες αυτές παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την υγεία των καλλιεργειών, εντοπίζοντας περιοχές με στρες, ασθένειες ή ελλείψεις θρεπτικών συστατικών.

Χαρτογράφηση NDVI: Οι χάρτες κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) μπορούν να δημιουργηθούν από εικόνες drone. Ο NDVI είναι μια κοινή μετρική που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της υγείας και της ευρωστίας των καλλιεργειών, βοηθώντας τους αγρότες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την άρδευση, τη λίπανση και την καταπολέμηση των παρασίτων.

Γεωργία ακριβείας: Τα UAV συμβάλλουν στη γεωργία ακριβείας επιτρέποντας στοχευμένες παρεμβάσεις με βάση τις ειδικές ανάγκες των διαφόρων περιοχών εντός ενός αγρού. Οι αγρότες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση πόρων όπως το νερό, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, οδηγώντας σε αυξημένη αποτελεσματικότητα και μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργειών: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες θερμικής απεικόνισης μπορούν να εκτιμήσουν

την υγεία των καλλιεργειών ανιχνεύοντας διακυμάνσεις στη θερμοκρασία. Οι ανωμαλίες μπορεί να υποδεικνύουν την παρουσία παρασίτων ή ασθενειών πριν γίνουν οπτικά εμφανείς, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση.

Εκτίμηση της απόδοσης: Τα UAV μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση των αποδόσεων των καλλιεργειών, καταγράφοντας δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι πληροφορίες αυτές είναι πολύτιμες για τους αγρότες και βοηθούν στον προγραμματισμό της εφοδιαστικής αλυσίδας συγκομιδής και στη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων.

Χαρτογράφηση αγρών: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να δημιουργήσουν λεπτομερείς τρισδιάστατους χάρτες αγρών, βοηθώντας τους αγρότες να κατανοήσουν την τοπογραφία και τα μοτίβα αποστράγγισης. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στη βελτιστοποίηση των μοντέλων φύτευσης και των συστημάτων άρδευσης.

Φροντίδα ζώων:

Παρακολούθηση του ζωικού κεφαλαίου: Τα drones που είναι εξοπλισμένα με κάμερες μπορούν να παρακολουθούν την υγεία και τη συμπεριφορά των ζώων. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση του μεγέθους του κοπαδιού, την παρακολούθηση μεμονωμένων ζώων και τον εντοπισμό σημείων ασθένειας ή δυσφορίας.

Διαχείριση βόσκησης: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση των βοσκοτόπων παρακολουθώντας τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα της βοσκήσιμης ύλης. Οι αγρότες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα πρότυπα βόσκησης για να διασφαλίσουν ότι τα ζώα έχουν πρόσβαση σε επαρκή και θρεπτική τροφή.

Επιθεώρηση φράχτη: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιθεώρηση περιφράξεων και περιφράξεων, διασφαλίζοντας ότι βρίσκονται σε καλή κατάσταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη διαχείριση των συστημάτων εκ περιτροπής βόσκησης και την πρόληψη των αποδράσεων.

Έρευνα και διάσωση: Σε μεγάλες γεωργικές περιοχές, ιδίως σε εκτεταμένα συστήματα βόσκησης, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να βοηθήσουν στον

εντοπισμό και την ανάκτηση χαμένων ή τραυματισμένων ζώων. Αυτό μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για την έγκαιρη επέμβαση και την κτηνιατρική περίθαλψη.

Ανάλυση συμπεριφοράς: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να καταγράψουν δεδομένα συμπεριφοράς, όπως μοτίβα διατροφής και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ζώων. Οι πληροφορίες αυτές είναι πολύτιμες για την κατανόηση της ευημερίας των ζώων και την προσαρμογή των πρακτικών διαχείρισης.

Παρακολούθηση πηγών νερού: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των πηγών νερού για τα ζώα, διασφαλίζοντας ότι έχουν πρόσβαση σε καθαρό και επαρκές νερό. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τη συνολική υγεία και παραγωγικότητα των ζώων.

Ανίχνευση αρπακτικών: Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που είναι εξοπλισμένα με κάμερες μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό πιθανών απειλών για το ζωικό κεφάλαιο, όπως τα αρπακτικά ζώα. Αυτό το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης επιτρέπει στους γεωργούς να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για την προστασία των ζώων τους.

Η ενσωμάτωση της παρακολούθησης με UAV σε πρακτικές έξυπνης γεωργίας προσφέρει μια ολιστική προσέγγιση στη γεωργική διαχείριση, η οποία καλύπτει τόσο τις πτυχές της καλλιέργειας όσο και του ζωικού κεφαλαίου. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλυθούν με τη χρήση προηγμένων αλγορίθμων και τεχνολογιών, παρέχοντας στους αγρότες αξιοποιήσιμες πληροφορίες για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J.-M., and Berckmans, D. (2008) | Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, a farmer's panacea or pitfall?
- [2] Clark, M., and Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural, input efficiency and food choice.
- [3] Perakis, K., Lampathaki, F., Fenareti, L., Nikas, K., Georgiou, Y., Marko, O., et al. (2020). CYBELE-Fostering precision agriculture and livestock farming through secure access to large-scale HPC-enabled virtual industrial experimentation environments fostering scaleable big data analytics.
- [4] Stevenson, P. (2017). Precision Livestock Farming: Could it Drive the Livestock Sector in the Wrong Direction.
- [5] Rowe, E., Dawkins, M. S., and Gebhardt-Henrich. (2019). A systematic review of precision livestock farming in the poultry sector: is technology focused on improving bird welfare?
- [6] Green, T. C., and Mellor, D. J. (2011). Extending ideas about animal welfare assessment to include 'quality of life' and related concepts.
- [7] Weary, D. M., and Robbins, J. A. (2019). Understanding the multiple conceptions of animal welfare.
- [8] Bracke, M. B. M., and Hopster, H. (2006). Assessing the importance of natural behaviour for animal welfare.
- [9] Hurnik, J. F. (1993). Ethics and animal agriculture.
- [10] Broom, D. M. (1991). Animal welfare—concepts and measurement.
- [11] Cronin, K. A., and Ross, S. R. (2019). Technical contribution: a cautionary keynote on the use of behavioural diversity (H-index) in animal welfare science.
- [12] von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchent-Forde, J., et al. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals—a review.
- [13] Gomez, Y., Bieler, R., Hankele, R., Zähler, M., Savary, P., and Hillmann, E. (2018). Evaluation of visible eye white and maximum eye temperature as non-invasive indicators of stress in dairy cows.
- [14] Herborn, K. A., McElligott, A. G., Mitchell, M. A., Sandilands, V., Bradshaw, B., and Asher, L. (2020). Spectral entropy of early-life distress calls as an iceberg indicator of chicken welfare.
- [15] Ralph, C. R., and Tilbrook, A. J. (2016). The usefulness of measuring glucocorticoids for assessing animal welfare.
- [16] OIE (World Organization for Animal Health) (2012). Global Animal Welfare Strategy. OIE, Paris, France.
- [17] FAWC (Farm Animal Welfare Council) (2009). Farm Animal Welfare in Great Britain: Past, Present and Future. FAWC, London.

- [18] Mellor, D. J. (2016). Updating animal welfare thinking: moving beyond the 'Five Freedoms' towards 'a life worth living'.
- [19] Fraser, D., Duncan, I. J. H., Edwards, S. A., Grandin, T., Gregory, N. G., et al. (2013). General Principles for the welfare of animals in production systems: the underlying science and its application.
- [20] Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M. B., Moe, R. O., Spruijt, B., Keeling, L. J., et al. (2007). Assessment of positive emotions to improve their welfare.
- [21] Fournel, S., Rousseau, A. N., and Laberge, B. (2017). Rethinking environmental control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming.
- [22] Alsaaod, M., Fadui, M., and Steiner, A. (2019). Automated lameness detection in cattle.
- [23] Zhuang, X. L., Bi, M. N., Guo, J. L., Wu, S. Y., and Zhang, T. M. (2018). Development of an early warning algorithm to detect sick broilers.
- [24] McLennan, K., and Mahmoud, M. (2019). Development of an automated pain facial expression detection systems for sheep (*Ovis aries*).
- [25] Yufeng, G. E., Thomasson, A., and Ruixiu, S. (2011). Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review.
- [26] Vandermeulen, J., Bahr, C., Johnston, D., Earley, B., Tullo, E., et al. (2016). Early recognition of bovine respiratory disease in calves using continuous monitoring of cough sounds.
- [27] Fernandez, A. P., Norton, T., Tullo, E., van Hertem, T., Youssef, A., Exxadaktylos, V., et al. (2018). Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology.
- [28] S. Neethirajan and B. Kemp, "Digital Livestock Farming", *Sensing and Bio-Sensing Research*, vol. 32, pp. 100408, 2021.
- [29] R. S. Alonso, I. Sittón-Candanedo, Ó. García, J. Prieto and S. Rodríguez-González, "An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario", *Ad Hoc Networks*, vol. 98, 2020.
- [30] K. Dineva and T. Atanasova, "Expandable IoT Architecture for Livestock in Agriculture 5.0", *21st International Multidisciplinary Scientific Geoconference - SGEM 2021 6.1*, pp. 147-154, 2021.
- [31] I. Halachmi, M. Guarino, J. Bewley and M. Pastell, "Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production", *Annual Review of Animal Biosciences*, vol. 7, pp. 403-425, February 2019.
- [32] K. Dineva, D. Parvanov, T. Atanasova, G. Mateeva, P. Petrov and G. Kostadinov, "Towards CPS/IoT System for Livestock Smart Farm Monitoring", *2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*, pp. 252-255, 2021.

- [33] C. Yongqiang, L. Shaofang, L. Hongmei, T. Pin and C. Yilin, "Application of Intelligent Technology in Animal Husbandry and Aquaculture Industry", 2019 14th Int. Conf. on Computer Science & Education (ICCSE), pp. 335-339, 2019.
- [34] M. Taneja, J. Byabazaire, N. Jalodia, A. Davy, Cr. Olariu and P. Malone, "Machine learning based fog computing assisted data-driven approach for early lameness detection in dairy cattle", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 171, pp. 105286, 2020.
- [35] J. Koltcs, D. Koltcs, B. Mote, J. Tucker and D. Hubbell, "Automated collection of heat stress data in livestock: new technologies and opportunities", *Transl. Anim. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 319-323, 2018.
- [36] K. Wurtz, I. Camerlink, R.B. D'Eath, A.P. Fernández, T. Norton, J. Steibel et al., "Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review", *PLoS ONE*, vol. 14, no. 12, pp. e0226669, 2019.
- [37] L. Klerkh, E. Jakku and P. Labarthe, "Areview of Social Science on digital agriculture start farming and agriculture", *Contributions and future research agenda*, vol. 4, pp. 90-91, 2019.
- [38] V. Röttgen, P. Schön, F. Becker, A. Tuchscherer, C. Wrenzycki, S. Döpja, et al., "Automatic recording of individual oestrus vocalisation in group-housed dairy cattle: development of a cattle call monitor", *Animal*, vol. 14, no. 1, pp. 198-205, 2020.
- [39] S.K. Tuteja, T. Duffield and S. Neethirajan, "Graphene-based multiplexed disposable electrochemical biosensor for rapid on-farm monitoring of NEFA and β HBA dairy biomarkers", *Nanoscale*, vol. 9, no. 30, pp. 10886-10896, 2017.
- [40] X. Weng, L. Chen, S. Neethirajan and T. Duffield, "Development of quantum dots-based biosensor towards on-farm detection of subclinical ketosis", *Biosens. Bioelectron.*, vol. 72, pp. 140-147, 2015.
- [41] I. Camerlink, E. Coulange, M. Farish, E. Baxter and S. Turner, "Facial expression as a potential measure of both intent and emotion", *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1-9, 2018.
- [42] D. Hanson and Ch. Mo, "Monitoring Cattle Motion using 3-axis Acceleration and GPS Data", *Journal of Research in Agriculture and Animal Science*, vol. 2, no. 10, pp. 01-08, 2014.
- [43] V.N. Kravchenko and VK Zimogorsky, "Prospects of Digitalization of Dairy Animal Husbandry", *Machinery and technologies in livestock Scientific quarterly journal*, vol. 4, no. 40, 2020.
- [44] I.P. Ivanova, I.V. Trotsenko and V.V. Trotsenko, "The Results Of Using Modern Stock Management Systems In Dairy Cattle Breeding", *Вестник КРАСГАУ*, no. 1, pp. 90-95, 2020.
- [45] H. Vasileva, "What farmers think about the blockchain system", [online] Available: agri.bg.

- [46] R.L. Rana, C. Tricase and L. De Cesare, "Blockchain technology for a sustainable agri-food supply chain", *British Food Journal*, vol. 123, no. 11, pp. 3471-3485, 2021.
- [47] P. Petrov and T. Atanasova, "Digital Twins with Application of AR and VR in Livestock Instructions", *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics*, vol. 77, pp. 39-50, 2021.
- [48] Javaid, Mohd, et al. "Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies." *International Journal of Intelligent Networks* 3 (2022): 150-164.
- [49] Klerkx, Laurens, Emma Jakku, and Pierre Labarthe. "A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda." *NJAS-Wageningen journal of life sciences* 90 (2019): 100315.
- [50] Arvanitis, Konstantinos G., and Eleni G. Symeonaki. "Agriculture 4.0: the role of innovative smart technologies towards sustainable farm management." *The Open Agriculture Journal* 14.1 (2020).
- [51] Vlachopoulou, M.; Ziakis, C.; Vergidis, K.; Madas, M. Analyzing AgriFood-Tech e-Business Models. *Sustainability* 2021, 13, 5516. <https://doi.org/10.3390/su13105516>
- [52] Duangsuwan, Sarun, Phakamon Juengkittikul, and Myo Myint Maw. "Path loss characterization using machine learning models for GS-to-UAV-enabled communication in smart farming scenarios." *International Journal of Antennas and Propagation* 2021 (2021): 1-13.